

Lifecycle Management of product/project

2024. 05. 08

Kook Hun Kim, Ph. D
Visiting Professor, GSEP, SNU
CTO, Global I&C Partners

Lifecycle Management

- 인간의 생애주기
 - 과거: 요람에서 무덤까지
 - 현재: 잉태 전부터 무덤까지
 - 제품과 project의 생애주기
 - 후진 기업: 수주 후 풀어가기
 - 선진 기업: 제대로 된 product/project Lifecycle 관리
- * 무엇이 제대로 된 Lifecycle 관리인가?

Why Alexander Ferguson & MU FC?

- long run 감독(1974~2013, 40년간, 인간의 생애주기)
- 큰 실패가 없다(System Failure, Trip?)
- 저 예산 팀을 강자로 육성(I&C 경시?)
 - 에버딘이 스코틀랜드리그 우승, 뮌헨, Real Madrid 꺾고 UEFA 2건 우승
 - 맨유에서 25년 무승이 EPL 창설 후 20년 동안 13회 우승 및 38개 트로피
 - 헤이젤 참사(1985) 후의 15년 간 암흑기를 뚫고 영국축구 재건/기사 작위
 - 감독을 가르치는 사람
 - 벅컴의 얼굴을 축구화를 던져서 찢은 감독
 - 난 감독이고, 넌 선수야!
 - 우리들은 언제나 이 클럽을 '버스'에 빗댄다. 버스를 놓쳐버린 사람이 나온다해도 '미안!'이라며 앞으로 나아갈 수밖에 없다. 타지 못한 사람을 주우러 되돌아갈 수는 없기 때문이다.
 - 와이프는 날 컨트롤할 수 있는 유일한 사람입니다. 그리고 그녀가 약속했어요, 매주 토요일마다 동상에 절을 한다고 했어요!
- 맨유 전성기에는 “저 정도 선수면 나도 우승하겠다.”
- 실제로는 장기적 plan, 선수 스카우트, 육성, 전략과 전술 등
- I&C system like Manchester United FC under Sir Alexandor Ferguson

* 이것이 Lifecycle management 이다.

Lifecycle Management

➤ Business/Product Case

- 사업(제품)의 지속성 개선을 위한 경영적 방법(접근)
- 대/소 조직, supply chain
- Target, Organization, Analysis, Project-related information(Feedback, Diagnosis)-Measuring, Continuous Improvement, Formal Approach, Monitoring

➤ Human Case

- 인성, 체력, 외모, 지식, 매너, 경제력, 전문성 요소
- DNA, 교육, Feedback, 시정 조치(반성과 화합, 화해 등)

Lifecycle Management

- Business/Product Case의 잘못된 이해
 - 경영적 측면과 단계별 조치와 행위로 이해
 - 설계/구매/시제품제작/EQ/본제품제작/시험검증/납품/설치 및 시운전/유지보수 및 예비품
- 제대로 된 이해
 - 상기 항목에 정량적 목표가 부여되고, 이의 실현
 - 지속적인 특성 유지와 개선 노력이 필수
- 정량적 목표는?
 - RAMST(Reliability, Availability, Maintainability, Safety and Testability)

Lifecycle Management(example)

➤ HVDC(High Voltage DC) Transmission System Project 절차

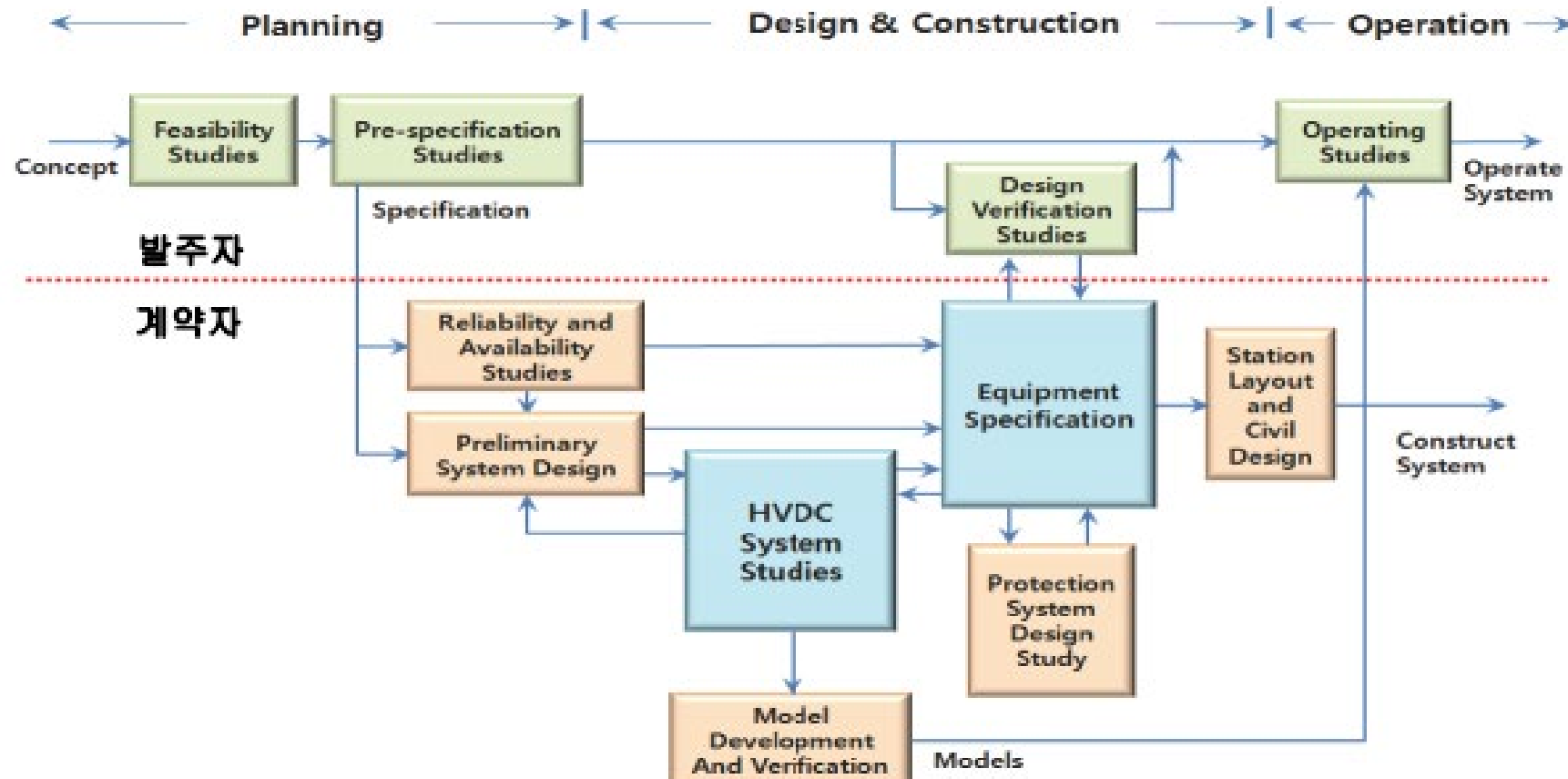


그림 5.1 HVDC 프로젝트 업무수행 절차

Lifecycle Management

- 공급(예정, 희망)자의 최초 업무는?
 - Reliability & Availability study
 - Preliminary System Design

- MMIS 경험
 - No initial RAMS study has been carried out.
(After design fix and manufacturing, unavailability analysis was carried out using Mil 217F)
 - Design requirements given and/or pre-discussion fixes PPT design.
 - Who should do RAMS analysis and when it should be done?

Lifecycle Management: Example

➤ Sir Alexander Ferguson의 Manchester United FC

- MU FC 감독(1986~2013: 27년)--- 세계 최장기간, 1985의 헤이젤 극복
- 우승 38회(전체 감독 기간 49회 우승)--- 역대 최고 실적, 정량적 목표와 성과
- 1999년 트레블 달성(기사작위)

➤ 특징

- 최소 경비로 실적: 경영적 관점
 - MU FC는 누적적자 해결, 유망주 영입으로 지속 성장
 - 팀보다 위대한 선수는 없다(System 화) – 회사의 품질체계
- 지속적인 전술의 진화(upgrade, update) – Innovation
- Brand 가치 세계 6위까지..

➤ Product로서의 의미

- 성능(실적), 지속성(우승 횟수), 경제성(적은 투자비)에서 최고
- 감독과 축구계의 BOSS
- 퍼거슨의 MU FC같은 제품 만들기: Product Lifecycle Management

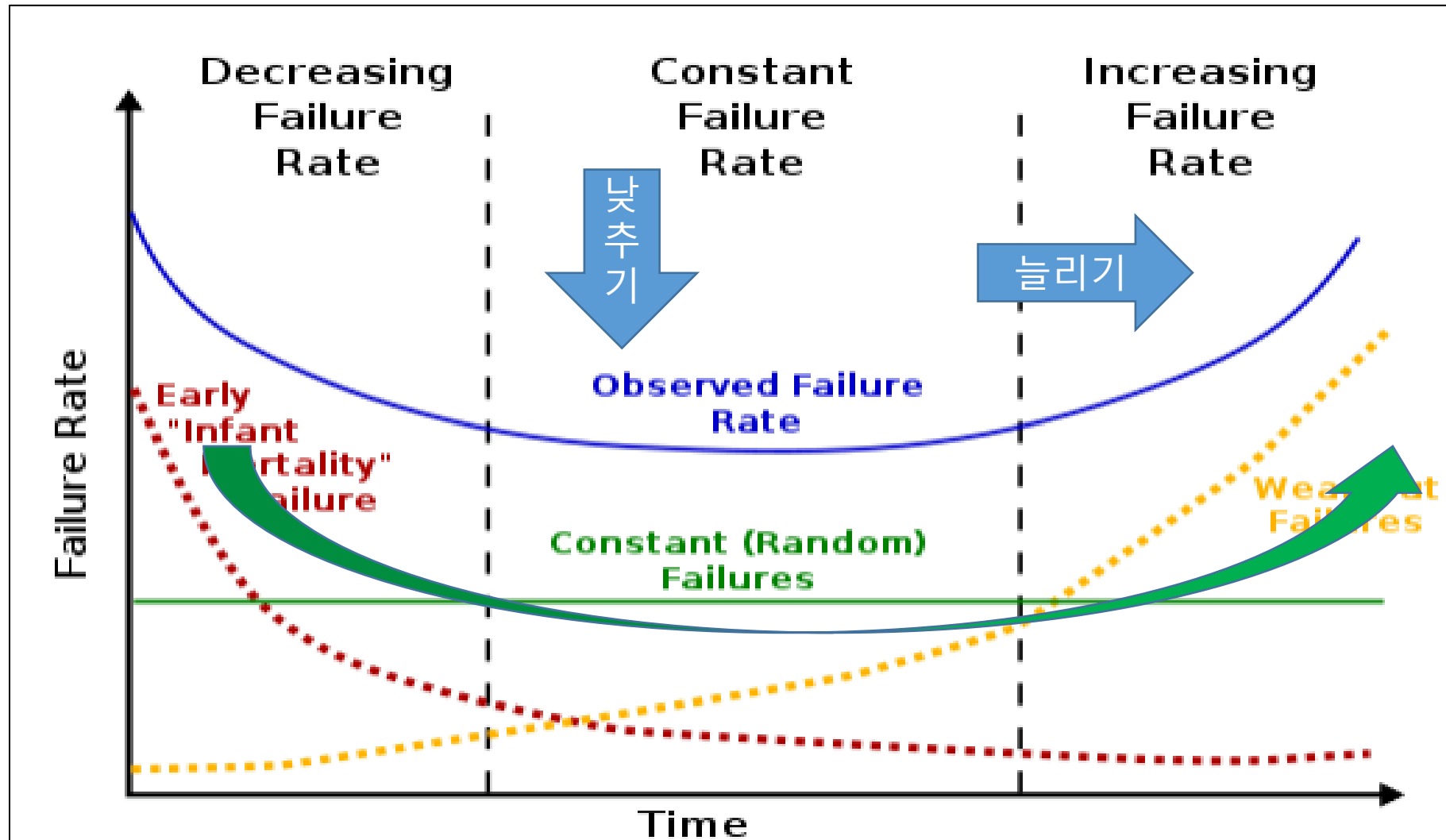


Product Lifecycle Management(PLM)

➤ PLM의 목표

- 좋은 성능의 Product(Dependable System)
 - 기능, 신뢰도, 가용도, 유지보수성, 안전성
- 오래 가는 Product
- 경제성이 있는, 잘 팔리는 Product
- 지속가능한 회사

PLM의 목표: 경제성 + alpha



개선 설비

PLM의 원리와 PLM S/W?

- PLM을 위한 Software Tool의 홍수
- PLM 실행의 원리와 행위 이해
(중점 study 사항)
- 우리는 PLM을 실행해야 하는 Scientific Engineer

PLM 실행 원리와 행위 이해

➤ PLM의 주체

- 회사 조직과 운영 baseline
- 회사 구성원(자격, 교육훈련)
- 회사 시설/장비 등

➤ PLM 실행 대상 행위

- Project 계약서
- 요건, 고객, 구매, 설계, 시험, 보관, 특수 공정, RAMS, SCM, 제3자 검증

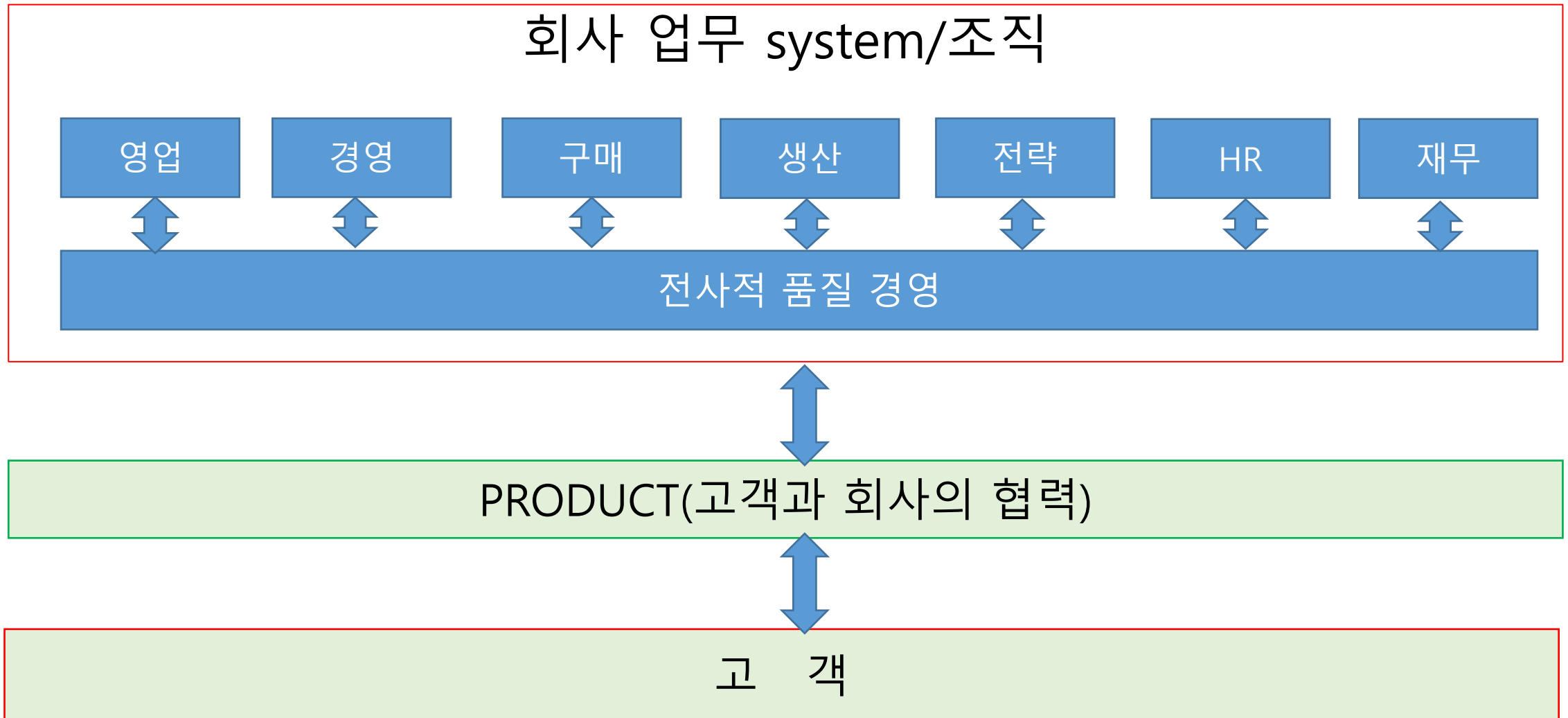
➤ 주체들의 적절한 행위가 확인/검증/평가된 문서

➤ 지속적인 개선 노력

대상 Project의 성격

- 대상 Project
 - 안전필수시스템의 제어/보호
 - 안전관련 시스템의 제어/운영
 - 국가 핵심설비(대규모 에너지 설비, Mobility, 금융/정보 설비)
 - 의료기기, 보안관련 설비 등
- 핵심 요건
 - Project 계약서
 - 요건, 고객, 구매, 설계, 시험, 보관, 특수 공정, RAMS, SCM, 제3자 검증
- 주체들의 적절한 행위가 확인/검증/평가된 문서
- 지속적인 개선 노력

대상 Project PLM 구조



고객과 회사의 협력사항

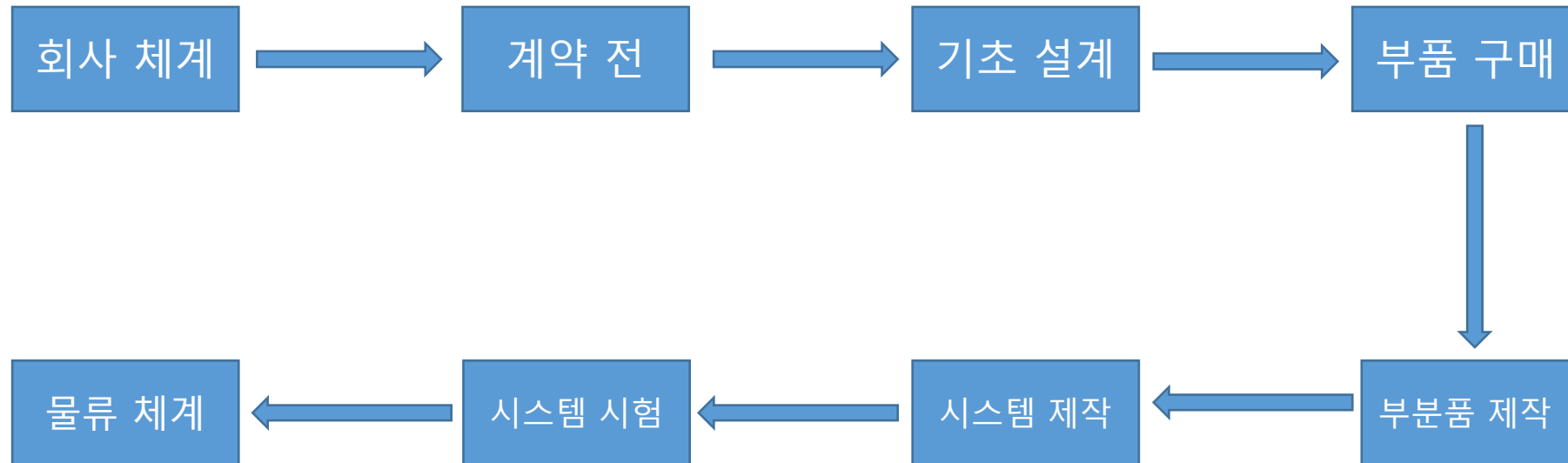
- 계약 전 협의
 - 납기, 가격, code & standard, RAMS, 특수 공정
 - 계약일반조건 및 특수 조건 등
- SCM(Supply Chain Management)
 - 계약조건의 전파, Audit 및 Qualification(자격 인증), 품질 및 RAMS 조건 등
- 계약 후 진행
 - Project 진행
- 납품(설치 후) 협의
 - 고객 피드백
- 지속적 활동
 - 개선, 평가, 기록 체계화, Database 구축 및 활용 방안

제 2부

PLM 상세 Activity
(dependable system 관점)

제 2부 PLM Activity

➤ PLM Activity Flow



제 2부 PLM Activity

- 회사 체계
 - 조직 체계
 - 자격 인증
 - 문서화 시스템
 - 시설/장비
- RAMS 영향 요소 평가
 - 고장률(Failure Rate)
 - 신뢰도 평가
 - 핵심 고리는
 - 고장률이 합리적인가?
 - 제품에서의 고장률이 항상 일정한가?(즉 부품단위 고장률이 어느 설비에서나 지켜지는가?)
 - 같은 선수 조합으로도 감독에 따라 1등, 꼴등, World-cup 4강, Asian-cup 우승 실패 등
- 야구선수의 방어율, error 개수 등은 팀의 수비 능력, 상대 타격 등과 관련
- 그러므로 같은 부품도 실제 설비 내에서의 고장률은 그 설비를 얼마나 잘 만들고, 어떤 환경에서 얼마나 잘 사용되는가의 함수가 되어야 합리적이다.
 - 상기의 모든 공학적 절차와 부품을 가장 잘 설명하는 고장률 평가 Guide가 FIDES Guide 2022이다

제 3부 safety related System PLM Activity

- 'System RAMS 목표'를 핵심사항으로 다룬다.
 - IEC 61508의 기준 만족 + α
 - 국민들은 관심이 별로 없다
 - 그러나 Engineer들은 필수 항목이며, 설계 및 생산/공급의 최대/기본 요건이 된다.
 - 고장률이 합리적인가?
 - 제품에서의 고장률이 항상 일정한가?(즉 부품단위 고장률이 어느 설비에서나 지켜지는가?)
 - 같은 선수 조합으로도 감독에 따라 1등, 꼴등, World-cup 4강, Asian-cup 우승 실패 등
- 야구선수의 방어율, error 개수 등은 팀의 수비 능력, 상대 타격 등과 관련
- 그러므로 같은 부품도 실제 설비 내에서의 고장률은 그 설비를 얼마나 잘 만 들고, 어떤 환경에서 얼마나 잘 사용되는가의 함수가 되어야 합리적이다.
 - 상기의 모든 공학적 절차와 부품을 가장 잘 설명하는 고장률 평가 Guide가 FIDES Guide 2022이다

제 4부 Safety Related System Lifecycle Management

- New Product Characteristics Analysis
(잘 만들었는가? 또는 신뢰도 특성은 어느 수준?)
 - FIDES based 7 stage analysis
 - Practical Component Failure Rate & Systemize Tech.
 - System RAMST 평가
- Maintenance Point of View
(잘 사용하는가?, 유지보수의 문제)
 - Advanced Maintenance Tech. and its effect analysis

제 4부 Safety Related System 생산관점

- Specification
- Design
- Manufacturing
- Equipment Integration
- System Integration
- Operation & Maintenance
- Support Activities(이하 각항의 상세 및 Ex 넣을 것)

제 4부 Safety Related System 생산관점

➤ Specification

- RAMST 분석의 인적/재무적 지정
- 신뢰도요건의 하부 설비 할당(Reliability Allocation)
- 요건의 분석, 고객 협의, Mission profile 분석 등
- FMEA/FMECA/FTA(필요시) 분석
- 체계화, 인적/물적자원의 배치 및 활용
- 신뢰도 계획 문서화(Risk 관리, 유지보수정책 등)
- 관련 과거 경험 피드백 및 활용 체계화

제 4부 Safety Related System 생산관점

➤ Design(기술적:Fault Tolerance)

- 물류/구매/제작/시험/RAMS 등의 모든 구성원이 동시공학(concurrent Eng.) (동시공학: 초기설계부터 전 lifecycle의 관련자가 참여하며, 검토하는 방식, 초기 설계 확정 단계에 20~30% 예산 투입/80% 이상 결정, 고장이 적은데 유지보수가 매우 어려운 제품은?, 제작과정에서 RoHS 관련 단종 등))
- Failure/Error/anomaly 등의 정의 및 예방/시정조치 계획
- FMEA/FMECA 분석(FTA) – 설계 Risk 최소화 시도 및 정량분석의 기본
- Preliminary RAMS 분석, 신뢰도 영향요소의 기술적 위험성 공식 식별
- 설계기술의 Matrix 도표화 및 개정
- 설계검토 수행(위원회?, 조직, 3자 검증?)
- 동일기능 선호부품 List & Test coverage 최대화

제 4부 Safety Related System 생산관점

- Design(기술적:Fault Tolerance)
 - NCR 조치계획(판단기준, 대상 물품 처리 방법 등)
 - Dependability 활동계획(담당자, 모든 단계에 걸쳐, 문서화 등)
 - 모든 합/부 판단기준의 문서화
 - 신뢰도 요건 충족을 위한 부품 선정기준
 - 신뢰도 개선과 구현/시험의 편의성을 같이 검토해야(원전은 글썄...)
 - 제품의 Mission/Mission Profile 숙지, 제품의 견실성 제고 노력
 - 환경영향(사용, 제조, 저장, 시험, 운송 등의 모든 lifecycle 환경) 분석 및 stress screening

제 4부 Safety Related System 생산관점

- Manufacturing 중요 activity
 - 준비/제조/시험의 시정/예방조치 계획 및 spec. 대비 final test coverage optimize, 제조 과정의 환경 모니터링(용액, 공기, 온도, 습도, 기타 요소들)
 - 모든 제조환경의 연속적인 모니터링과 대응 대책
 - 제작 중간생산품의 anomaly, error 등의 감지 및 고장 확산 방지 대책
 - 생산설비/수단의 anomaly, error 등의 감지 및 고장 확산 방지 대책
 - 소재의 경우는 처리시간 명기 및 관리방법 명시, 준수 등
 - 특수공정에 대한 전문적 관리/제3자 검증 emd
 - 생산현장의 최적화(환경, 공정공간, 절차 관련 등)
 - 생산/조립/보관/저장 중의 ESD 대책 철저 수준
 - 생산/조립/시험 단계의 상세 문서화 및 인력 지정/교육훈련/확인 등
 - NCR, Anomaly 처리 절차 및 기준, 권한자 지정 등

제 4부 Safety Related System 생산관점

- Equipment/System Integration 중요 activity
 - 조립 전후 및 과정 중의 event, anomaly, 고장 등의 예방/시정조치 계획의 수립과 이행
 - 부품, 부분품의 완전 추적성(조립자, 제작자, 시험자 및 결과, 조치 등) 확보
 - 부분설비, 전체 시스템의 보관, 운송 및 납품까지의 절차와 준수 등
 - 부분설비, 완제품 등의 최종 검사 및 시험 절차 및 수행, 문서화 등
 - 생산/조립설비의 anomaly, event, 고장 등의 예방/방지 및 자체점검 기능 및 이후 조치계획 및 수행 등
 - 모든 조립/조작자에 대한 교육/훈련 및 기술능력 지속적 모니터링 등
 - 특수공정의 식별, 관리, 실행 및 시험/조립 설비의 software 관리 등
 - 생산/조립 공정의 개선 및 이의 고객 소통/승인 등
 - 생산/조립/시험 과정에서의 ESD 대책수립 및 실행 수준
 - NCR 처리 보고서의 품질수준 및 적합성 수준

제 4부 Safety Related System 생산관점

- Operation & Maintenance 중요 activity
 - 예방조치 및 시정조치의 상세성, 절차화, 문서수준 및 제3자 검증 등
 - 제품의 추적성 수준
 - 포장 등의 운송준비가 요건(온습도, 진동 및 오염, 손상실 등)에 부합하는가?
 - 부분품의 보관 절차 및 과정(장소 식별, 장소 적합성)에 대한 검토 및 평가
 - NCR 기준 및 처리방법의 구체성 및 투명성, 권한 인사 지정 등
 - 제품의 검사 및 시험을 위한 설비 및 수단에 대한 문서화, 3자검증 및 이의 관리절차 및 과정 등
 - 특수공정을 위한 인력/설비/소재 및 이의 관리 절차/소프트웨어/검사 및 시험 등에 관한 문서화/교육훈련 및 기술성숙도 평가/모니터링, 수행 및 3자 검증 등
 - ESD 대책 및 QVD 수준, 납품 등

제 4부 Safety Related System 생산관점

➤ Support Activity 중요 activity

- 제품의 성능악화나 실패를 초래할 수 있는 생산/조립/검사 및 시험 설비 등의 고장/악화/오동작 등을 방지할 수 있는 제반 사항이 체계적으로 분석되고 집약, 관리되는가?(장비의 FMECA 등을 포함)
- 제품의 신뢰도를 개선하기 위한 지속적인 노력과 이에 관한 고객의 피드백을 체계적으로 관리하고 반영/소통하는가?
- QA/QC 체계 및 절차의 적합성(ISO 9001, v 2016 or EN 9100, NQA-1의 구체화/상세화 등)
- 사용 부품과 제작사의 선정에 신뢰도 요소가 고려되는가?(문서화 필수)
- 하도공급사의 부분품 제작/시험 등에도 동일한 시험/품질/신뢰도 요건이 적용되는가?
- 하도 공급사의 신뢰도 관리지침이 정당하고, 제대로 검증되며 개정되고 있는가?

제 4부 Safety Related System 생산관점

- 제품(부분품)의 신뢰도는 아래에서 구해지는 고장률을 이용하여 계산
- $R(t) = \exp(-\text{Lamda} \cdot t)$, 병렬 구조 및 고장진단/수리가능성 등으로 실제 신뢰도 함수는 달라진다.(다중화, Markov model 등)
 - 이성섭 대표 발표자료 참고
- FIDES 2022의 part count 방법/Life-profile 반영/ $\Pi(\text{PM})$ 반영한 자체 고장률
 $\Pi(\text{PM})$ --- 부품의 제조/생산 품질 및 기술 관련 지수
- $\Pi(\text{Process})$: 제품을 출하할 때 까지의 7단계 작업의 평가결과로 곱해지는 수
---- 이 값의 의미는 같은 부품으로, 같은 제품을 생산해도 생산하는 회사의 상기 7단계 적용 수준에 따라 제품 내에서 고장이 달라진다는 상식을 정량수식화 한 것
- 상기 결과는 최초 출하/공급/설치된 상태에서의 RAMS를 의미하게 된다.
- I&C 설비의 사용 중에는?

제 4부 Safety Related System 생산관점

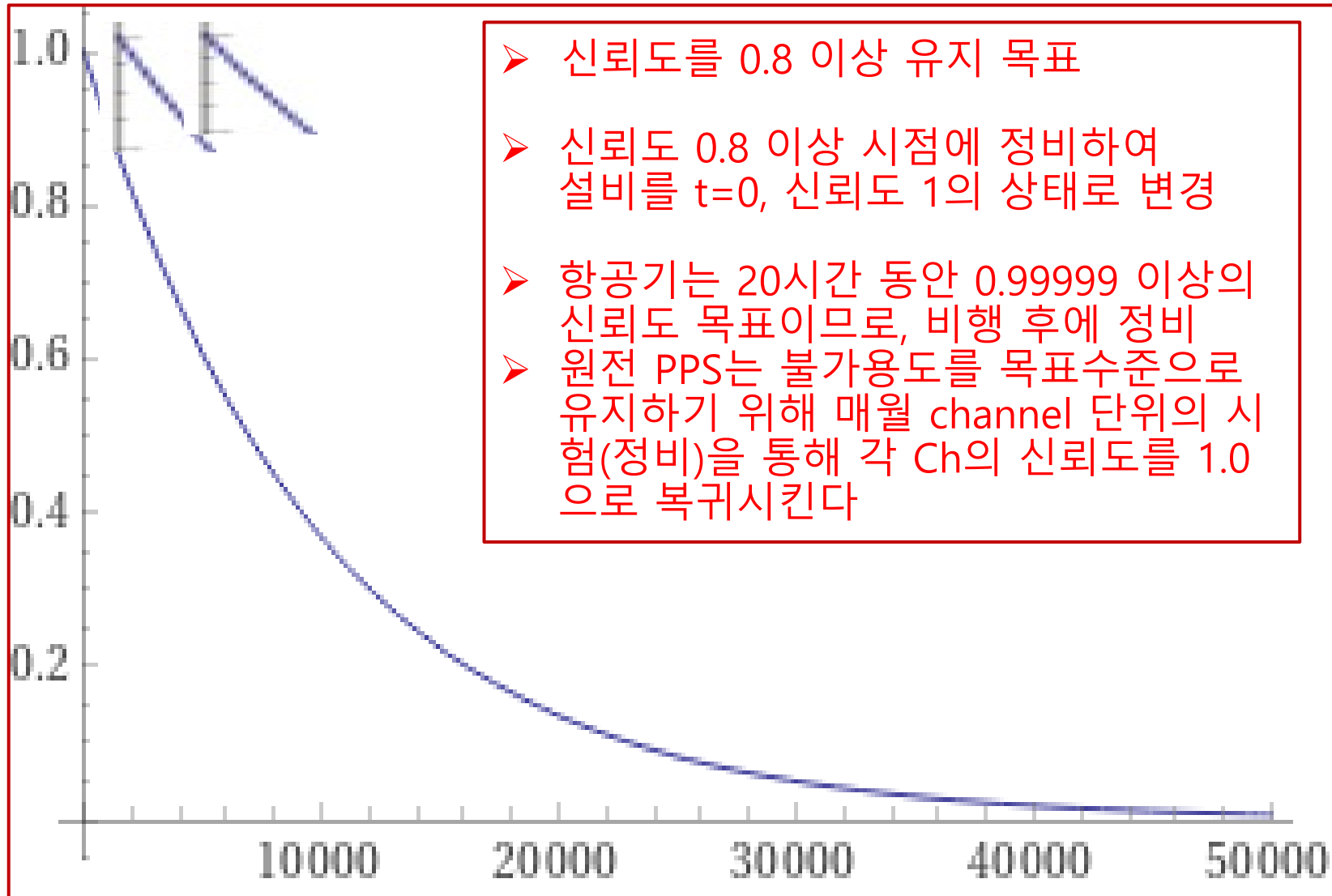
➤ Maintenance의 진화

- Periodic Maintenance
- RCB(Reliability Centered Maintenance)
- Predictive Maintenance
- Preventive Maintenance
- PHM(Prognostics & Health Management)
 - Residual Life Estimation(오래된 Arrhenius eq.의 활약)
- AI based Maintenance
- Smart Maintenance?

제 4부 Safety Related System 생산관점

- PHM(Prognosis & Health Monitoring)
 - 신뢰도 관리를 위한 정비 및 운용
(Corrective, Periodic, Reliability Centered, Preventive, Predictive maintenance) --- 이들은 육조곡선의 평탄성 유지 상태에서, System이 요구하는 신뢰도를 확보하기 위한 수단임
 - 고장률 평탄구간의 의미: 부품의 수명기간
이는 사용 환경/방법 등의 함수로 결정 된다.
 - 요구 신뢰도는 어떻게 보장하는가?
 - 적절한 정비/시험/유지보수로 보장된다.
 - 예: 발전소 보호계통, 항공기 제어시스템(신뢰도 0.99999 유지)

제 4부 Safety Related System 생산관점



제 4부 Safety Related System 생산관점

- 시험 성격의 유지보수(신뢰도 1.0 환원)만으로 장비의 목적을 달성할 수 있는가?
- 이는 욕조곡선의 평탄구간이 보장되는 구간에서만 유효한 방법이다.
- 욕조곡선의 끝은 어디인가?
- 부품/설비의 수명예측이 필요하다.
- 인간은 현재 건강하지만, 이는 건강이 유지되는 수명은 별개의 예측이 필요하다.
- 전자시스템은 Ahrrenius식에 의해 노화가 되고, 노화가 수명을 결정짓는 요소가 된다.
- 가속노화와 이에 의한 성능저하를 평가하고 모델링을 하면, 성능저하가 설계자 또는 고객(규제자)이 허용하는 성능한계에 도달하는 노화량의 예측이 가능하다.
- 이 노화량을 기반으로 수명 및 잔존수명 예측이 가능해진다.
- 시편의 개수와 노화 측정 data 수에 따라
 - 기본적으로는 최소자승법 개념의 parameter 식별방식을 사용하지만,
 - 측정오차의 확률분포에 따라 최우도알고리즘(Maximum Likelihood Algorithm)이 사용되기도...

맺음말

- 원전 I&C는 Lifecycle Management가 필수
- Lifecycle Management의 목표는 요구 신뢰도/가용도/안전도를 확보하기 위함
- 처음부터 바로 된(실제에 잘 맞는) 고장률과 이에 의한 신뢰도 예측이 시작점
- 고장률의 예측은 FIDES의 부품/시스템 제작과정의 평가를 거쳐서 예측
- 이를 위해 제품의 계약/설계/부품선정/제작/시험평가/운송 및 설치의 전 과정에서 품질과 최고의 기술 적용이 필요
- 그렇더라도 운용기간의 유지보수에 따라 성능과 목표수준 달성은 달라진다.
- 운용기간에는 PHM 방식의 잔여수명예측에 기반한 부품과 PCB 등의 교체가 필수
- 이런 전 과정을 정성적/전량적으로 이해하고
- 사업화/새 설계에 활용하여
- 원전과 SMR I&C의 성능과 경제성을 동시에 확보하는 기반이 되기를 기원합니다.

맺음말

- 원전 I&C는 Lifecycle Management가 필수
- Lifecycle Management의 목표는 요구 신뢰도/가용도/안전도를 확보하기 위함
- 처음부터 바로 된(실제에 잘 맞는) 고장률과 이에 의한 신뢰도 예측이 시작점
- 고장률의 예측은 FIDES의 부품/시스템 제작과정의 평가를 거쳐서 예측
- 이를 위해 제품의 계약/설계/부품선정/제작/시험평가/운송 및 설치의 전 과정에서 품질과 최고의 기술 적용이 필요
- 그렇더라도 운용기간의 유지보수에 따라 성능과 목표수준 달성은 달라진다.
- 운용기간에는 PHM 방식의 잔여수명예측에 기반한 부품과 PCB 등의 교체가 필수
- 이런 전 과정을 정성적/전량적으로 이해하고
- 사업화/새 설계에 활용하여
- 원전과 SMR I&C의 성능과 경제성을 동시에 확보하는 기반이 되기를 기원합니다.

PHM과 잔존수명예측

- PHM의 시대가 도래?
- 잔존수명예측은 PHM의 대부분
- 잔존수명예측이 잘 되고 있는가?
- 잔존수명예측의 방법론(절차)은?

부록

➤ 잔존수명 예측 절차

- 대상부품 선정
- Arrhenius 식에 의한 가속열화 방정식(가속factor 산출, T1, T2)
- 가속노화 시험
- 자연로그로 선형방정식 모델링
- 최소자승법, MLE 등으로 선형방정식 식별
- 부품의 수명점(성능 한계: 예를 들면 성능이 최초시점의 70%) 추정
- 수명점에서의 가속열화를 정상사용조건에서의 운전시간으로 환산

감 사 합 니 다.