技術解說
18~5~1

Systems Engineering에 대하여(Ⅰ)

高 明 三*
Ko Myoung Sam

1. 서 론

세계 2차대전후 산업의 급속한 발전에 따른 電力, 通信, 交通 및 製造業등 system의 대규모화는 system工學의 발달을 촉진시켰다. 특히 지난 7月에 성공한 人間의 달 착륙은 바로 system工學의 힘이라고 말할수 있다. 인간도 포함시킨 대규모적인 裝置體系로서 한개의 目的을 위해서 봉사하는 것을 system라고 부르고 있는 것이 보통이다. 사전을 引用하면 "system이란 相互從屬的인 형태로 결합된 여러 목적들(혹은 부분품)들의 集合"이라고 정의되어 있으며 한마디로 系統, 體系, 혹은 組織이라고 번역할 수 있겠다. 예컨데 대규모적이면서 관련된 諸要因이 相互依存的으로 결합되어 복잡한樣相을 띠고 있는 것이 그 특성이다. 따라서 이러한 system 特有의 특성으로 因한 system 문제가 발생하게 됨을 쉽게 상상할 수 있다. 예를 들면 1個의 굴뚝에서 배출되는 연기가 都市의 상공에 擴散했을 때의 공기의 汚染度는 무시할 수 있을 정도로 적어도 공장지대 혹은 무수히 많은 굴뚝에서 내뿜는 연기 혹은 자동차배기 gas는 煙害 및 空氣汚染은 工業都市 및 大都市 특유한 system 문제가 된다. 또한 개개의 장치에서는 무시할 수 있을 정도로 낮은 고장율일지라도 이들 장치로 구성된 규모가 큰 system로되면 그 고장율들이 加重되어 큰 고장율을 나타내는 경우가 많다. 이外에도 大都市에서의 交通難, 給水難등등은 기존 system의 재검토와 이를 代替한 새 system을 등장케한다. 이와같이 system 문제의 해결을 위해서 등장한 것이 systems工學이며, 1950년 전후를 始點으로 급속도로 발달하였고 현재는 완전히 工學 전반에 걸친 문제를 다루면서도 독자적인 공학분야로 그 형태를 갖추게되었다. 즉 system 工學의 成立原因은 system문제가 산업 및 社會의 여러 분야에서 차례차례로 나타났을뿐만 아니라 system 문제를 科學的으로 취급할 수 있고 또한 이렇게 하지 않고는 발전을 기할 수 없음이 확실해졌기 때문이다. 따라서 system 공학의 갈바는 대규모적인 system 문제에 대한 科學的인 해결책을 제시하는 것이라고 볼 수 있다.

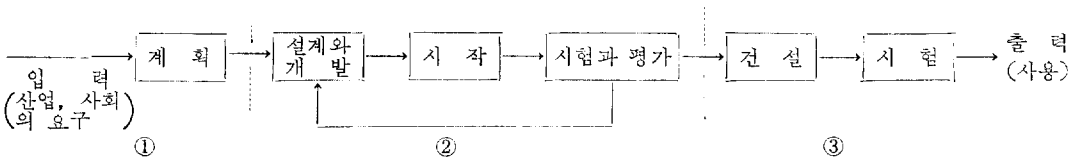
※ 正會員 : 서울工大 電氣工學科 助敎授

System 공학에 의한 해결책으로 비로서 대규모적인 system은 調和가 된 全體—말하자면 organized working tool—가 될 수 있다. 調和가 된 system의 가장 좋은예는 우리들 인간이며, 이 人間 system의 비밀은 Wiener의 Cybernetics—동물과 기계에서의 통신과 제어에 관한 이론—에 의해서 해결되어 갈려고 하고 있다. system공학은 社會의 要求에 응하는 人工 system를 調和된 형태로 실현할려고 하므로, system 공학은 Cybernetics의 工學的具現이라고도 말할 수 있다. 최근 systems공학의 成果라고 말할 수 있는 것으로 인간의 달착륙 즉 미국의 항공우주국이 주관한 달정복을 위한 아폴로 계획에는 二萬을 넘는 제작회사, 二百여에 달하는 大學과 研究所, 40만명을 넘는 과학기술자들이 동원되었고, 아폴로11號 우주선은 155만개, 새턴5형 로켓트는 560만개의 부분품으로 되어 있고 이 外에 發射나 通信에 관계되는 장비까지 합치면 아폴로 계획을 이룩하는 전 system은 무려 1000만개이상의 부분자으로 구성되었고 이外에 로켓트, 기계, 전기, 전자, 금속, 공학 뿐만아니라 天文氣象, 의학 生物學등 현재까지 인간이 이룩해놓은 모든 分野의 知識과 技術의 集大成이라고 볼 수 있겠고, system工學에 의한 새로운 효율적인 企劃과 執行방식에 의해서 아폴로계획이 成功했다고 말할 수 있다. 그리고 금년 초 미국 의회에서 논의된 ABM system(Anti-Ballistic Missile System)는 人類歷史上 가장 규모가 큰 system으로 알려져 있다.

앞으로 system 공학에 特有한 數學的解析方法을 수시로 도입하면서 system 공학의 合成, system 공학의 解析과 最適化, system工學의 領域과 그 應用例를 차례로 들면서 설명하고저한다. 끝으로 附言하지 않은 이상은 어디까지나 Deterministic Models에 限한 것으로 한다.

2. System의 合成

System 合成이란 人間의 요구를 충족시키기 위한 공학 즉 system의 초보적 개념이다. System engineer에 의한 과학적인 선택에는 반드시 設計, 운전 특성 판별법, system 특성 및 경제적인 고찰을 수반하게 된다. 그림1은 system 건설과정을 나타내며 이에 관련해서 system engineer의 임무를 이야기 한다.



그 림 1. System 건 설 과 정

a) system engineer의 임무

대규모 system의 건설과정은 그림 1과 같이 나타낼수 있는데

이들 과정을 대별하면

(1) 요구에서 계획까지

(2) 설계와 개발에서 시험과 평가까지

(3) 건설에서 사용까지가 된다.

제 1 단계에서는 우선 산업및 사회의 요구가 무엇인가를 완전히 이해한후 system가 수행해야할 동작, 가격등의 제한조건을 system engineer 가 결정해야한다. system 동작에 관한 정의를 할 수 있다는 것은 system 구상의 모든것이 이루어 졌음을 의미하며, 여기서부터 비로서 合成이 시작된다. 동작 실현방식에는 일반적으로 여러개의 競合的인 方式이 있겠으나 그림 2와 같은 순서에 따라서 최종적으로 가장 合理的인 方式이 결정된다.

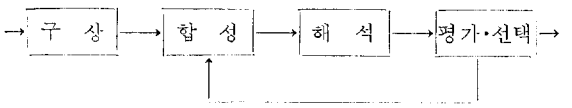


그림 2. 합리적 방식의 결정

이 제 1 단계에서는 일반적으로 system 문제의 해결과 동시에 여러 분야의 기술의 개략적인 종합화를 다루게 되므로 system engineer는 다른 분야의 科學者 및 技術者들로 구성된 team을 만들어 해당 문제를 해결하는 것이 원칙이다. 이 제 1 단계에서 우리들은 system 가 수행할 동작과 제한조건의 상세한 기술, 동작을 실현할 system 구성(sub-system에 대한 요구와 동작 예상도 포함)의 개략, 특히 제조업에 관한 대규모 system인 경우, 건설日程계획, system 의 조작, 보수, 시험, 평가 방법 등에 관한 system 計劃書를 작성해야 한다.

第 2 단계에서는 第 1 단계에서 작성된 system에 대한 더 상세한 설계가 실시되며, sub-system 의 仕様書도 명확하게 정해지며, sub-system 相互間의 관계해석부터 system 문제로서의 종합, 및 세부적인 장치, 부분품의 설계 및 개발이 실시된다. 그 결과 原型제작의 試作 및 시험과 평가의 결과를 다시 설계의 개발에 결부시켜 그림 2와 같은 방식을 밟게 된다. 즉 이 제2단계에서는 최종적인 설계서가 완성되는데 system engineer는 어디까지나 각 sub-system 間의 仕様조정이라고 볼수 있는 system 문제만을 專念해야 할것이다. 단 각종부분품의 표준화로 인한 得失에 대한 검토는 어디까지나 system 문제로서 system engineer 가 해야할 문제이다. system 계획서는 system설계의 기본 방향만을 제시하는 것으로 system engineer는 다른 여러 분야의 전문가들—기계, 전기, 화학, 재료전문가, 품질관리 및工程관리 기술자등등—과 한덩어리가 되어 일하는 것이 원칙이다.

system 설계에 있어서 sub-system의 仕様書는 subsystem 相互間의 관계와 system 문제해결을 목표로 명확하게 정해지며, 이로부터 장치의 구체적인 설계, 나아가서는 각종 부분품의 설계 및 개발을 하게 된다. 그런데 가장 중요한 것은 많은 sub-system間의 相互關係이다. 왜냐하면 sub-system 단독으로 사용했을때와는 달리 개개의 동작오차의 전달로 인한 system 오차의 해석으로 sub-system의 仕様이 결정되기 때문이다. system의 규모가 커 갈수록 복잡성의 증대. 나아가서는 subsystem 相互間의 相互의존도가 커진다. system 설계의 良度와 相互의존도는 반비례한다. system工學의 최대成功조건은 sub-system의 相互의존도를 최소로 유지하는데 있다. 즉 相互의존도를 최소로 유지하므로써 開發기간 및 試作시간 및 비용등이 절약되고, system에 융통성과 高信賴性을 부여할수 있다. 만일 相互의존도가 어느 한도를 넘으면 system 해석자체가 不可能하게 될뿐만 아니라 信賴할 수 있는 설계란 거의 생각할수 없다. 만일 system 의 어느 한 부분을 조절한결과 전 system 의 동작을 豫測할수 없거나 또는 다른 여러 곳을 再調整해야만 한다면, 이는 오늘 날의 system工學의 産物이라고 볼 수 없다.

제 3 단계는 물건 제작과정이다. system engineer의 주임무는 system건설 project의 관리이며, 日程表에 따라 下請業者 및 계약 업자를 감독하는데 있다.

다음에는 제2단계를 중심으로 H.H Goode와 R.E Machol의 사고방식에 따라 system engineer가 system 설계시 이행해야할 사항에 대해서 더 상세히 설명한다. system설계의 원칙에입각하여 다음의 6段階로 분류된다

제1단계 : 시작

이 단계의 목적은 企劃을 세우는 것으로 1日내지 1個月이상 소요된다. System team은 1~3名으로 구성되며 team 責任者는 문제에 관계된 모든사람들과 정보를 교환하는 반면 설계도 시작해야하며, 그림3과 같다. 이 단계에서의 결과는 대략 다음과 같은 내용으로된 보고

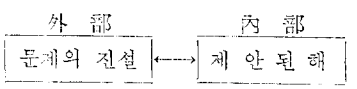


그림 3 system 설계 순서

서를 작성 해야 한다.

(i) 문제의 진술

(ii) 제안된 문제해결방안.

(iii) 필요로하는 설계組의 構成員의 성격과 인원수 및 이를 위한 日程表.

(iv) 企劃달성에 필요한 시간과 자금의 개략적인 견적.

제 2 단계 : 조직

企劃진행에 따라 다음 사항이 필요하다.

(i) system team을 강화한다.

(ii) 전체企劃에 대해서 각자의 임무를 할당한다.

(iii) 효율적이고 더 합리적인 해결법을 선택한다.

이 단계는 약 2주 내지 3개月이 소요된다. 그리고 system team은 多角的인 idea를 제공키위하여 적어도 5~10名의 전문가로 구성된다.

system의 해는 일반적으로 單一하지 않으므로 이중에서 가장 合理的인 소위 最適化된 해를 선정해서 진행시킨다. 이 단계를 위한 全計劃에는 계획시간표, 경비, 인원 및 계획달성에 필요한 資材의 成長曲線을 포함시켜야되지만 이 단계에서의 見積에는 어느정도의 오차가 포함되어 있다. 또한 計劃에는 研究 group, 設備 group에 관한 必要事項도 지시해야한다. 그림 4는 제2단계에서의 설계순서를 표시한 것으로 이 경우의 문제 진술에는 效果를 측정할 尺度의 선택과 설계의 判定基準에 관한 設定등이 포함된다. 이 단계에서는 2주 간격으로 보고를 하는 것이 적절하다. 보고서에는 system team의 구

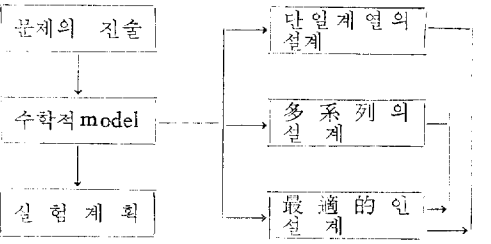
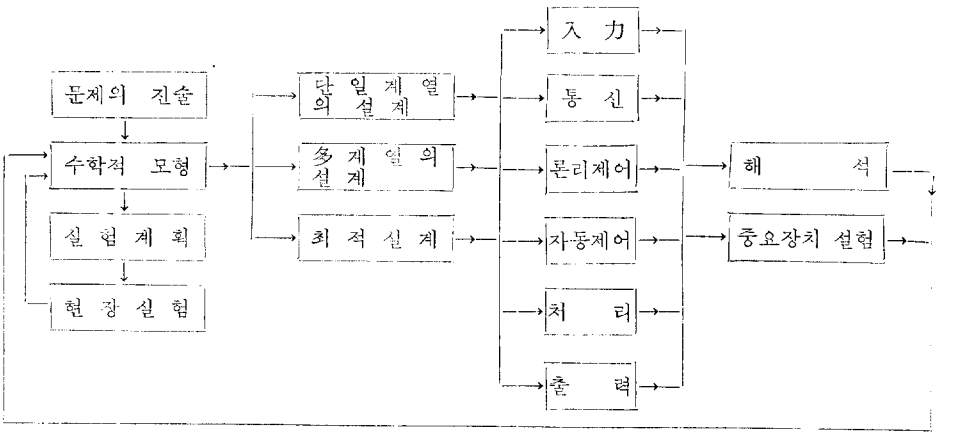


그림 4. 조 직 단 계

성문제의 진술, 문제에 대한 여러가지 合理的인 해결법 중 最適的인 것을 선택하며 이에 관한 諸計劃을 기술한다.

제 3 단계 : 예비적 설계

이 단계의 목적은 실지로 system라고 부를수 있는 案을 종합검토 작성하는데 있다. 2개月 내지 2年 이상 소요되며 한조의 기능적인 사약서가 완성된다. 그림 5는 예비설계단계를 표시한다.



그 림 5. 예 비 설 계 단 계

조직단계에서 계획된 실험을 시행하기 위해서는 service team가 필요하다. 실험 data에 의해서 더 좋은 數學적모형이 얻어지며, 현장 경험을 통해서만 얻을 수 있는 귀중한 정보를 얻게된다.

예비 설계에서 발생하는 문제로서 구성부분에 관계하는것은 장치 성능에 관한 중요문제를 해결하기 위한 해석, 연구 및 실험을 필요로 하며, 이들 결과를 system 자체와 결부시키는 것이 중요하다. 每月 1回 정도로 보고서를 제출하는 것이 보통이며, 다음과 같은 자료를 포함시킨다.

(i) 全 system의 동작에 관한 상세한 기술.

(ii) sub-system에 관한 명확한 기술.

(iii) 각 sub-system에 관해서

(a) 입력 및 출력의 종류 및 그 특성에 관한 완전한 진술

(b) 기능의 완전한 진술

(c) 전체의 크기, 중량 등에 관한 許容限度

제 4 단계 : 主設計

이단계의 목적은 機能上의 仕樣을 더 좋게 개선하는데 있으며, 1년 이상의 長期間을 요한다. 이 仕樣은 예비적설계보다 더 자세하며 定着된 것으로 장치담당자 자신이 요구하지 않는한 그 이상의 수정 없이 system設計 team이 승인한 최종 설계를 의미한다. 이단계에 속하는 企劃 실천에는 現場試驗員, 計算專門家, 技術員이 참여하게되며, 단일장치의 시작 장치群의 시험설계 및 재료설계등은 system 설계과정의 일부이며, 이 과정에서는 많은 數學的, 工學的 解決法(techniques)이 이용된다. 보고서는 每3個月에 1回정도 보고해야하며, 주설계 仕樣書는 수용가, 경영자, 企劃者, system設計者, 장치제작자에 의해서 설정된 요구와 一致해야한다.

제 5 단계 : 原形의 제조 및 건설

이 단계는 6개월내지 2年을 잡는 것이 보통이며 보고는 每 3個月에 1回하는 것을 원칙으로 한다. 특히 原形에 대한 지도시 및 保守에 관한 지도서를 작성해야한다

제 6 단계 : 시험 훈련 및 평가

原形과 마찬가지로 시험에도 기술적인 시험과 사용자의 시험등 여러가지가 있다. 技術的原形 즉 이를 만든 技術者에 의해서, 혹은 해당 기술자의 감독하에 조작되는 原形 시험결과와, 대량생산의 原形 즉 보통생산방식에 의해서, 제작되었고 또한 現場 종업원에 의한 評價는 구별해야한다. 다음 조작원의 훈련은 原形설계단계에서 시작하는 것이 좋다. system의 시험목적은 각부가 설계대로 등작하는가의 여부를 증명하는데 있고, 작은 결함을 제거하는데 있다. 만일 system의 설계가 잘 되었다고 하면, 그 결과는 수개월내지 1년내에 나타나며, 대량생산의 原形제작에 들어갈 수 있다.

평가의 목적은 설계의 목적 달성여부를 결정하는데 있다.

3. System 공학과 關聯諸技術과의 관계

a) system 공학과 OR

OR (Operations Research)이란 정부 및 기업체등의 조직이 최대의 성과를 올리기위해서 제한된 人員, 설비, 자금등의 운용방법을 科學的인 方法으로 연구하는 분야이다. OR은 과학적인 방법, 즉 해석적, 실험적, 정량적인 방법으로 경영체로서 취할 수 있는 여러가지 행동을, 전체적인 입장에서 평가하여 경영 혹은 정책결정에 대해서 効果的인 기준을 제공하는 것으로 설명되고있다

이와 같이 OR은 원래 system를 중시하고 있으나 공학에 비해서 매우 추상적, 개념적인데 反해서 system 공학은 實體 그 자체만 system의 要素로 들수있다. 그러나 전체적인 관점을 강조하는 OR의 주장은 system 공학의 本質과 일치하므로 system공학에서는 OR의 수법을 전면적으로 이용해야 할 것이다.

system공학과 OR 와의 두렷한 차이점은 前者가 實體가 있는 한개의 system을 설계 완성하는 것, 즉 合成을 主目的으로한 工學인 것에 비해서 後者의 목표는 더 광범한 분야에 걸쳐있고 解析만을 그 목적으로 하는 경우가 있다. 따라서 system공학에서는 OR적인 사고방식과 手法을 그대로 이용할 것이 아니라, 좀더 구체적인 기본방침하에서 섭취해야 한다.

b) system工學과 IE

IE (Industrial Engineering)의 정의가 여럿 있으나 미국 IE 協會에서 정한 것을 소개하면 다음과 같다. 즉 IE란 사람, 자재, 설비를 종합한 조직을 기안하며, 改善 및 評價하기 위하여 數學, 物理學 및 社會科學의 전문지식과 기술을 사용함과 동시에 기술적해석과 계획에 관한 여러가지 原理와 方法을 사용하는 공학이다.

IE 는 OR보다 더 오랜 歷史를 가지고 있기 때문에 OR보다 더 실제적인 문제와 결부 발전되어 왔으며, 그 대상은 量的으로 풍부하며 또한 실용적이다.

IE의 적용분야는

(i) 작업방법의 立案과 개선
(ii) 작업측정
(iii) 임금 및 勞資관리
(iv) 생산 및 상품목록의 관리
(v) 품질관리
(vi) 설비관리
(vii) 경영관리
(viii) 경영문제 관찰

등이다. 과거에는 OR 을 경시하고 이를 멀리하는 경향이 있었으나 현재는 점차로 OR을 IE의 한 방법으로 도입할려고 하는 경향이 많다.

IE는 상술한 바와 같이 개개의 실제적문제를 다루고 있는 관계로 보편적인 原理등등은 과거 소홀히 하는 경향이 있었으나, 최근에는 IE에도 system 개념이 점차적으로 강조되어, 개개의 문제해결에 있어서 조직전체에 미치는 영향까지 고려하는 경향이 있으나, 傳統的인 IE活動은 조직전체보다 어느한 부분만 개선할려고 하는 경향이 많다.

c) System工學과 ID

기업체를 한개의 system로 본다면, 여기에 속하는 各部課는 sub-system이다. 이들의 sub-system이 相互등작하며 또한 外部로부터의 入力을 어떤 다른 형태로 外部에 다시 방출하게되면 그 出力이 다른 어떤 형태로 변경되어 再次 入力이 된다. system에 관한 이러한 분야를 다룬것이 소위 ID(Industrial Dynamics)이다.

System공학중, 기존system의 운영 및 간단한 개선을

위한 작업은 경영공학이라고 부를수 있겠으나, 이는 ID의 적용으로 큰 이익을 얻게된다. 이경우 자동제어이론 및 決定理論등은 모형을 생각하는 경우 중요한 역할을 담당하게 된다.

d) system工學과 HE

HE(Human Engineering) 生理學, 心理學, 의학등의 성과를 이용하여 작업원에 적합하도록 장치 기계를 설계하며, 종업원을 위한 작업을 企劃하기위한 工學이다.

따라서 HE는 system工學의 한 분야로 볼 수 있다. 예를 들면 공장장치등을 설계하는 경우, 이것이 비교적 많은 운전원에의해서 운전되는 경우에도 설계자의 관심은 장치계통에만 집중되기 쉽다. 그 결과 장치계통은 예정대로 동작하여 계획된 生産을 낼 수 있어도 이 生産을 유지하기위해서 人間系는 부당한 勞力을 제공해야 하는 경우가 있거나 혹은 人間系의 규모자체가 부당하게 커지는 경우가 많다. 이는 곧 기계—인간계에 대한 system 공학적인 배려를 하지 않은 것을 의미한다. 바꾸어 말하면 HE를 전혀 고려 하지 않은 결과이다. 이와 같은 不合理性을 없애기 위해서는 HE가 필요하며 HE에 의해서 완전한 system공학이 이루어진다.

4. System 공학에 관한 기초이론

이때까지는 system 設計순서 및 몇가지 정의를 내렸는데 여기서는 이를 설계, 해석 및 企劃을 하기위한 數學的 工學的 理論을 간단히 설명하며 이중 중요한 몇가지 분야의 이론과 그 應用에 관해서 次回에 소개하겠다

현재 가장 보편적으로 쓰임과 동시에 중요한 분야를 소개하면 다음과 같다.

(1) Difference and differential equation theory
(2) Probability theory
(3) Computational methods
(4) System logic
(5) Queneing theory
(6) Game theory
(7) Mathematical programming
(8) Cybernetics
(9) Group dynamics
(10) Information theory
(11) Automatic control theory
(13) Human engineering
(14) Simulations
(15) Optimization methods.
(16) Functional Analysis

上記한 대부분의 이론은 OR에서 보통 사용되고 있다 앞에서 이야기 했지만 OR는 分析대상으로 보통 부분적인 대상만을 취하여 해석하지만, system工學설계인 경우 그 해결방법은 종합적인 것이된다.

OR와 system공학은 문제해결을 위한 이론적인 면에서는 많은 공통점이 있음에도 불구하고 다음과 같은 기본적인 차이점이 있다.

즉 OR에서는 운영 수속상의 변화가 관심의 대상이되지만 system공학에서는 장치의 변화가 주로 고려대상이된다.

(1) Probability theory(確率論)

確率論은 system工學에 의한 종합화 과정에서의 여러가지 단계와 관련된다. 數學的模型, 實驗計劃 및 多系列設計에 있어서 確率論 자체는 물론, 數理統計 정보이론 및 대기행열이론의 적용에도 不可缺한 것이다. data를 간단화하고, 해당 data로 부터 推定과 檢定하는 해석법은 實驗計劃 및 數理統計의 영역에 속한다.

(2) Computational methods (計算法)

전자계산기가 공학 및 경영상의 정보처리, data 처리에 결정적인 역할을 하고 있으므로 효과적인 전자계산기의 응용을 위한 계산방식에 관한 것임.

(3) Queneing Theory(대기 행열 이론)

System 내부에서 random한 入力 및 出力을 처리하는 경우, 이 대기 행열이론은 system의 상태를 해석하는데 있어서 不可缺한 것이다.

(4) Game theory

경쟁적인 모형으로서 경쟁관계에 있는 2人이상의 관계인의 각각이 선택한 전략에 기인한 경쟁결과를 해석하는 수학의 한분야가 소위 game 이론이다. 종래 OR 및 경제학 뿐만아니라 system공학에서도 합리적인 설계단계에있어서 그 應用이 크다. 경쟁관계에 있어서 최대의 効用과 이득을 올리려고하는 관계자의 전략과 이와 정 반대의 행동을 취할려고 하는 반대파전략과의 관계를 수학적으로 다룬것이 game 이론이다.

(5) Mathematical programming(數理計劃法)

數理計劃法은 여러종류의 投入量에대해서 여러종류의 제조물품을 얻는 경우 入出力의 최적관계를 구하기 위한것으로 數理計劃法 動的計劃法 및 非數理計劃法등이 있다. 예를 들면 어떤 原料—→제품인 生産공정에서 어느 原料를 어느 정도 投入하면 해당제품의 판매에 의한 이익을 최대로 할 것인가하는 문제를 결정할때 이것을 사용한다. 利潤의 最大를 目的으로 하는 대신에 비용을 최소로 하거나 최적 수송계획 및 인원배치계획 등을 목적으로 하는 경우에도 적용된다.

(6) Group dynamics

각 group의 구성원 간의 정보교환효율을 측정하는것을 목적으로 하는 心理學의 한 분야이다. 즉 구성원간의 정보교환을 network로 보고 그간의 効率을 計量化하는

方法이다.

(7) Simulations

이는 수학적으로 표현된 system을 電子計算機로 cut-and-try法 혹은 조직적인 方法으로 system을 조사하는 것으로 일반적으로 system 문제를 연구하는데 다음 세 가지 方法이 있다.

(a) 실제설비, 기계 및 사람을 사용하여 실험.

(b) 문제를 수학적으로 해석

(c) Simulations에 의한 실험

system을 실제로 조립하여 실험함은 현실적이지만 비용과 시일이 너무 많이 소비된다. 한편 수학적해석은비용이 적고 효과적인 방법이지만 방정식에 의한 system의 완전한 표현이 곤란할때가 많고 특히 非線形과 불연속적인 경우에는 복잡해진다. 그러나 simulation은 비용, 소요시간, 실현성 및 취할수 있는 변수次元이란 점에서도 兩者의 中間에 위치하며 매우 중요하다. 현재 대규모 System을 설계제작시 반드시 simulation法을 거쳐야만 한다. 해석법은 예비적수단으로 사용하고 실제의 system은 simulation에 의해서 얻어진 최종 결론에 의해서 작성해야 할 것이다.

(8) Information theory(情報理論)

情報理論은 group dynamics와는 달리 情報源부와 정보수수체 간에 개재하는 通報路의 성격을 연구하는 것으로 여기서 말하는 정보란 量的인 것이고 傳言과 같은 소위 意味論的인 면은 취급하지 않는다.

次回에 위에서 기술한 이론이 System공학의 실제면에서 어떻게 應用되고 있는가를 설명한다.

(34p에서 계속)

그리고 線路 reactance를 除去키 爲해서는 相當히 큰 補償裝置가 必要하였다. 即 約 70%의 直列 Capacitor가 必要하였다.

그리고 直列 Capacitor에 依하여 線路 reactance를 補償하는 한편 線路充電電流를 吸收시키는 Shunt reactor가 設置되어야 한다. 即 2,720MVar의 Shunt Capacitor가 있어야 線路全體의 充電電流의 83%를 補償할 수 있다.

本交流線路의 導體는 平行1回線에 事故發生時 2,000 MW를 送電하는데 充分한 容量을 갖추기 爲하여 相當 2條의 900mm²의 ACSR가 使用되었다. 系統의 安定度向上과 Capacitor 設置量을 減少키 爲하여 束導體方式과 線間距離가 最小가 되도록 努力하였다.

經濟評價

本連絡送電網의 利益對投資比率은 最小限 2.5對1(B/C ratio)이 될 것이다.

50年間의 償還期間中 Dollar로 測定할 수 있는 總利益은 26億弗이다. 이 利益의 3分之2는 發配電企業體에서 發生하고 그 나머지 利益은 電力供給의 餘備出力面에 信賴度向上, 超高壓送電技術의 進步, Canada와의 Columbia江開發에 따르는 條約履行面, 化石燃料資源의 保存 餘備發電設備의 縮少化, 電力系統間의 非常時電力融通의 可能性, 大氣汚染防止, 其他 等이다.