

차세대원전 통신망(DCN-Q) 신뢰도분석 방법론연구 A Study of Methodology about DCN-Q Reliability of KNGR

양승권, 정학영

한국전력공사 전력연구원
대전광역시 유성구 문지동 103-16

요 약

본 논문에서는 차세대원전 DCN-Q 통신망의 신뢰도 분석 방법론을 소개하고 있다. 본 논문에서 적용된 시스템 모델은 최근 제안된 차세대원전의 DCN-Q 통신망에 대한 것이다. 이 제안된 구조는 향후 변경될 가능성이 있으며 이로 인해 DCN-Q에 대한 신뢰도계산에 영향을 줄 수도 있다. 본 논문에서 통신망의 신뢰도 분석을 위해 매우 보수적으로 추정된 값을 사용하였다. 아직 차세대원전 통신망의 하드웨어가 결정되지 않았으므로 보수적인 MTBF값의 사용이 가능하다.

Abstract

The methodology of Reliability analysis for DCN-Q in KNGR was studied through in this paper. The system model for the DCN-Q data communication network is based on the currently proposed architecture for KNGR. Any significant changes to this proposed architecture that may occur in the future, can impact the DCN-Q reliability model as contained herein, and the resultant reliability calculations. The data used for the availability computations are based on a conservative estimate of the hardware MTBF rates as defined in this paper. Since selection of the actual hardware for implementing the DCN-Q data communication network has not yet been determined at the time of this report, conservative MTBF data was utilized to perform the system availability calculations.

1. 서론

2010년 경에 건설예정인 차세대 원자력발전소는 계측제어계통에 디지털시스템을 적용하고 있다. 특히 차세대원전 디지털시스템은 통신망기술을 바탕으로 개발, 적용되고 있기 때문에 디지털계통의 신뢰성입증을 위한 통신망의 건전성 확보가 필수적인 과제로 인식되고 있다. 따라서 통신망 설계에

있어서 신뢰도 분석은 전체 원전의 디지털 제어계통 신뢰도를 좌우하는 중요한 과정으로 이해되어야 한다. 본 논문에서는 현재 설계가 진행중인 차세대원전 I&C(Instrumentation & Control) 통신망계통 가운데 QIAS(Qualified Indication and Alarm System)의 입력 Network 신뢰도 분석의 방법론에 관해 논해 보고자 한다. 특히 본 신뢰도 평가는 구체적인 Hardware가 결정되지 않은 상태에서 이루어지는 분석이므로 System Configuration 및 기타 몇 가지 분석의 편이성을 위한 전제조건을 가정하여 접근하고자 한다.

2. 본 론

2.1 분석 방법론

QIAS 입력망 신뢰도를 분석하기 위해 먼저 DCN-Q에 관한 System Model을 설정해야 하는데 System Model은 차세대원전 설계 3단계 현재의 설계에서 고려중인 구조를 대상으로 한다(그림 2 참조). 향후에 본 Network System 구조는 설계변화가 있을 수 있는 구조이며 물론 이 변화는 전체적으로 신뢰도 분석에 영향을 줄 수도 있다.

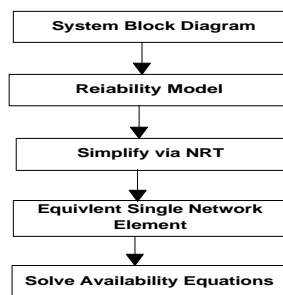


그림 1. Illustration of Hardware Reliability Methodology

2.1.1 방법론 접근

DCN-Q의 신뢰도 분석을 위해서는 먼저 System Model이 개발되어야 한다. 이 System Model의 개발을 통해 이에 상응하는 Reliability Model이 유도될 수 있다. 이 신뢰도 모델은 Reliability Block Diagram의 형태로 정의 될 수 있다. 신뢰도 모델은 일련의 Parallel Network Structures로 구성되게 된다. Network Reduction Techniques는 등가의 Single Network Element가 남을 때 까지 적절한 Configuration의 감축을 통한 반복적 작업이 이루어져야 한다. 결과적으로 마지막 하나의 등가

Network Element의 신뢰도 Parameter(Availability, MTBF)들은 처음에 구현된 System Model의 신뢰도 파라미터들을 그대로 반영하게 된다. 아울러 유효 Mean-Time-To-Repair(MTTR)은 분석대상 Model에 대해 계산되게 되며 계산된 결과들은 다음과 같은 Availability Indices로 부터 얻어진다.

0 System Availability

0 System Mean Time between Outages(System MTBF) in hours

0 System Mean Time between Outages(System MTBF) in years

0 Effective Mean Time to Repair(System MTTR) in hours

2.2 System Model

본 분석을 위해 DCN-Q의 통신망에 대한 System Model은 그림 2와 같이 설정해 볼 수 있다. 그림 2를 통해 보면 각 I&C Channel로부터 데이터의 수집을 위한 Channelized Data Concentrators를 활용하고 있음을 알 수 있다. 아울러 각 Channelized Data Concentrators들은 FDDI Backbone와 Interface되게 되어있다. 또한 Redundant Data Concentrators들은 FDDI Backbone을 통해 QIAS Segment Processor Gateway로 연결되도록 되어있다.

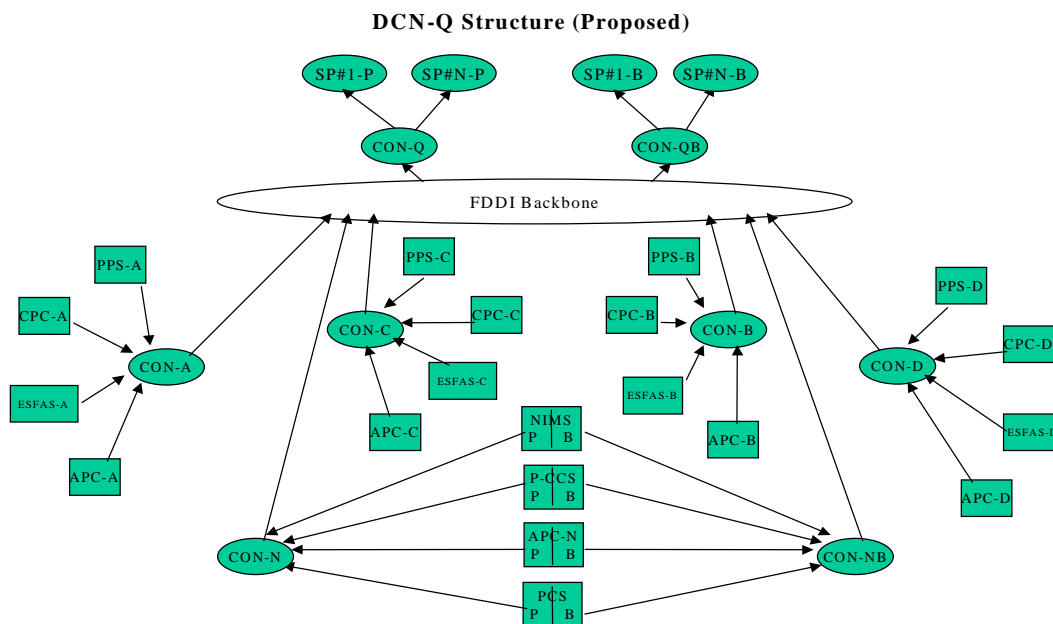


그림 2. 제안된 차세대 I&C DCN-Q 모델

2.3 Model Description

그림 2에 대해 다음의 Safety와 Non-Safety System 들은 Data Acquisition의 목적을 이루기 위해 통

신망과 연결되어지게 된다.(그림 3 참조)

System	Channel A	Channel B	Channel C	Channel D	Channel N Primary	Channel N Backup
APC-Safety	X	X	X	X		
PPS	X	X	X	X		
CPC	X	X	X	X		
ESFAS	X	X	X	X		
P-CCS					X	X
NIMS					X	X
PCS					X	X
APC-N (non-safety)					X	X

그림 3. Data Acquisition을 위한 시스템/채널별 현황

각 시스템의 채널은 게이트웨이 및 이와 연결된 FDDI Backbone을 포함한다. 게이트웨이는 Local 통신프로토콜을 이용하여 Local 시스템으로부터 데이터를 모으는 기능을 갖는데 이 정보를 FDDI 프로토콜을 경유하여 전송하게 된다. 여기서 광통신 기술은 게이트웨이 출력을 분리하며 전기적 독립을 이루는데 사용된다. 각 Data Concentrators들은 FDDI backbone과 Interface하기 위해 Fiber Optics를 사용한다.

2.4 MTTR 값 설정

일반적으로 MTTR값은 기기 Vendor에 의해 제공되는 것으로 0.5hrs, 1.0hrs 등으로 표현된다. 그러나 이 값들은 기기고장시 이를 대처하는 Technician이 이상적으로 대기한 상태에서 곧바로 보수 후 설치 운전한다는 조건하에서 형성된 값이다. 실제 발전소 운전상황에서는 고장기기의 발견 및 조치 후 재 가동까지는 더 많은 시간이 소요되게 된다. 따라서 MTTR의 계산은 실제 발전소 운전상황을 전제하여 다음과 같이 설정하는 것이 바람직하다.

- o 0.5 hrs. (typical value as reported by equipment vendors)
- o 1.0 hrs. (typical value as reported by equipment vendors)
- o 2.0 hrs. (typical representative value achievable in field)
- o 4.0 hrs. (typical representative value achievable in field)
- o 8.0 hrs. (one shift period)
- o 4.0 hrs. (one day interval - express order a part)

2.5 Accuracy

Component MTBF rates는 보수적으로 유사한 기기나 가용한 산업체 정보에 근거하여 보수적으로 계산한 것이다. 아울러 Calculation은 PC의 Microsoft Excel로 계산이 수행되게 되며 9 Significant Decimal Digits(0.XXXXXXXXXX)으로 표현된다. 마지막 Decimal은 Rounding 처리한다. 또한 Availability를 분석하는데 있어서 항상 보수적인 접근방법을 유지해야 하며 이것은 선택된 MTBF rates에 반영되어 있게 된다.

2.6 신뢰도 평가

2.6.1 Minimum Data Set

DCN-Q의 신뢰도를 계산하기 위해 "Minimum Data Set"를 정의하는 것이 필요하다. 이를 위해 2가지의 Minimum Data Set를 정의할 수 있는데, 여기서 "Minimum Data Set"는 QIAS를 사용하여 연속적인 발전소의 On-Line운전이 가능하거나, QIAS를 사용하여 안전정지나 Safety Monitoring이 가능토록 지원할 수 있는 최소한의 Data Set를 의미한다. 만일 최소한의 데이터 Set보다 더욱 적은 Data Set만이 유용하다는 것은 QIAS 경보나 지시(Indication)의 감시요구를 충족 시키기에 필요한 데이터가 불충분하다는 것을 의미한다.

2.6.2 Component Designation

Standard Component Designations들은 발전소 Computer Monitoring Equipment에 대해 정의되어 있으며 신뢰도 분석과정에서 본 표기들은 일관성을 반드시 유지하여야 한다. 이들은 아래와 같이 정의할 수 있다.

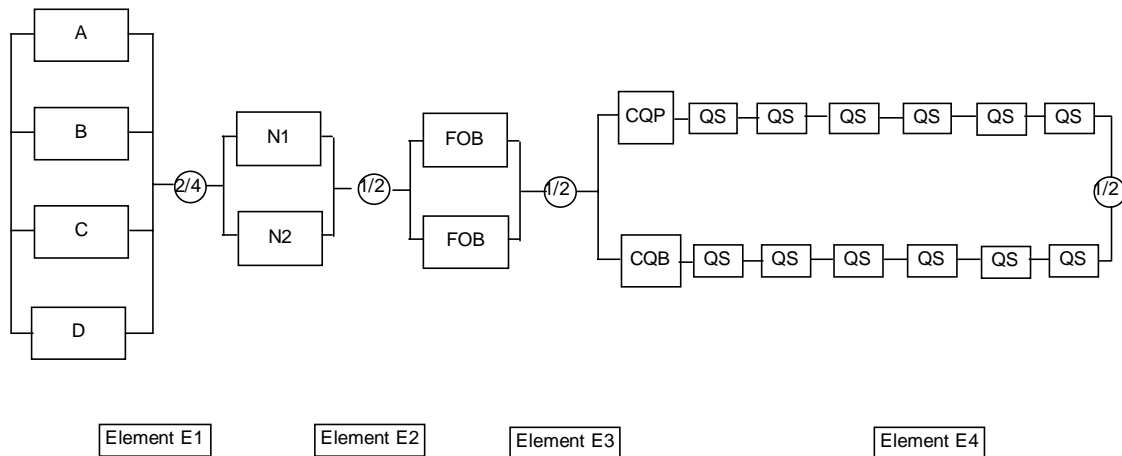
2.6.3 신뢰도 모델

그림 5,6과 같이 신뢰도 모델을 정립하기 위해 다음과 같이 Network Element를 구성할 수 있다.

- Element E1: Selective availability for the channelized safety system communication components (comprised of Gateways and Data Concentrators, for safety channels A, B, C, D)
- Element E2: Availability for each of the non-safety system communication channels (comprised of redundant Gateways and Data Concentrators for channel N)
- Element E3: Availability of at least one of the dual fiber optic cables that comprise the FDDI Backbone.
- Element E4: Availability of at least one of the two QIAS Data Concentrators and a minimum set of QIAS Gateways

Component ID	Description	MTBF (hours)	Notes
A1	APC-S Channel A Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A2	APC-S Channel B Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A3	APC-S Channel C Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A4	APC-S Channel D Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A5	PPS Channel A Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A6	PPS Channel B Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A7	PPS Channel C Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A8	PPS Channel D Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A9	CPC Channel A Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A10	CPC Channel B Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A11	CPC Channel C Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A12	CPC Channel D Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A13	ESFAS Channel A Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A14	ESFAS Channel B Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A15	ESFAS Channel C Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A16	ESFAS Channel D Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A17	P-CCS Channel N Primary Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A18	P-CCS Channel N Backup Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A19	NIMS Channel N Primary Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A20	NIMS Channel N Backup Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A21	PCS Channel N Primary Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A22	PCS Channel N Backup Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A23	APC-N Channel N Primary Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
A24	APC-N Channel N Backup Gateway	32,000	Engineering Estimate (see 1)
QS	QIAS Segment Processor Gateway	36,000	Engineering Estimate (see 1)
CA	Channel A Data Concentrator	36,000	Engineering Estimate (see 1)
CB	Channel B Data Concentrator	36,000	Engineering Estimate (see 1)
CC	Channel C Data Concentrator	36,000	Engineering Estimate (see 1)
CD	Channel D Data Concentrator	36,000	Engineering Estimate (see 1)
CNP	Channel N Data Concentrator - Primary	36,000	Engineering Estimate (see 1)
CNB	Channel N Data Concentrator - Backup	36,000	Engineering Estimate (see 1)
CQP	QIAS Primary Data Concentrator	36,000	Engineering Estimate (see 1)
CQB	QIAS Backup Data Concentrator	36,000	Engineering Estimate (see 1)
FOB	FDDI Backbone Fiber Optic Cable	160,000	Engineering Estimate (see 1)

그림 4. Component Data for use with DCN-Q Reliability Model



5. Simplified Reliability Model/Availability of the DCN-Q Data Communication Network(Condition 1:Continued On-Line Operation Utilizing the Minimum Data Set)

3. Computation

신뢰도 분석을 위해 다음과 같이 각 시스템의 Minimum Data Set를 먼저 계산하고 아울러 이들에 대해 NRT(Network Reduction Technique)를 이용, 등가의 단일 Network를 유도해 내야한다.

3.1 Availability of Safety System Input Data

일반적으로 4 Channel System에서 각각의 안전시스템(ESFAS, PPS, APC-S, CPC)은 최소한 4Channel 가운데 2개의 Channel이 동시에 운전 가능해야 한다. 이에 대해 총 10개의 Minimum Data Set를 갖게됨을 알 수 있다.

3.2 Availability of Non-Safety System Input Data

비안전 계통은 각각의 System에 대해 2개(Primary와 Backup)의 Non-Safety Data Channel을 갖고 있다. 따라서 신뢰도 분석을 위해 최소한 2개 중 1개의 Gateway가 Minimum Data Set의 최소요건을 충족시키기 위해 운전 가능해야 만 한다.

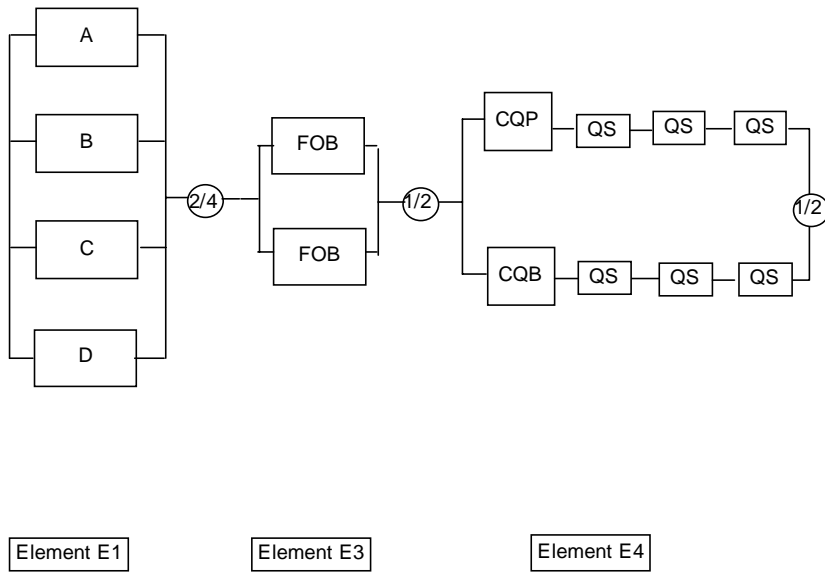


그림 6. Simplified Reliability Model/Availability of the DCN-Q Data Communication Network(Condition 2:Safety Monitoring and Safe Shutdown Utilizing the Minimum Data Set)

3.3 Availability of FDDI Backbone

FDDI Backbone은 Optical Fiber의 링구조를 갖는다. 이들 Dual Ring 구조는 결국 Redundancy를 갖춘 것이며, 따라서 최소한 Dual Loop 가운데 1개는 운전가능한 상태를 반드시 유지해야만 한다.

3.4 Availability of Data on QIAS Segment Processor

신뢰도 분석을 위해 두 개중 하나의 QIAS Data Concentrator가 운전 가능해야 하며, 아울러 Data Concentrator와 Interface되는 모든 6개의 QIAS Segment Processor Gateway는 운전 가능해야 한다.

3.5 Net Availability for Model

Condition 1, Condition 2의 각각에 대해 전체의 신뢰도를 구하기 위해서는 각 Element E1, E2, E3, E4에 대한 Serial Combination에 대한 신뢰도를 구하는 것이다. 따라서 각 Serial Combination에 대해 NRT를 적용 최종적인 등가 Availability와 MTTR값을 계산할 수 있게된다.

4. 결론

지금까지 차세대원전 통신망(DCN-Q)의 신뢰도 분석을 위한 절차 및 방법에 대해 살펴보았다. 통신망의 신뢰도 분석을 위해 먼저 시스템의 모델을 정립하고 이에 맞는 신뢰도 모델을 설정하는 것이 가장먼저 수행되어야 할 사항이다. 신뢰도 모델이 정립된 후 NRT를 이용한 단일 등가 Network를 도출해 내어야 하며 이를 바탕으로 Availability와 MTTR값을 계산해냄으로써 효과적인 시스템의 신뢰도 분석이 가능해진다. 하지만 본 신뢰도 분석을 위해서는 먼저 시스템의 구성 Hardware에 대한 각 신뢰도 Parameter 값을 알아야 하며, 아울러 본 신뢰도 분석은 시스템의 소프트웨어의 고장은 고려되지 않고 있다는 점을 알아야 한다. 본 신뢰도분석 방법론을 통해 다양한 시스템의 신뢰도 분석에 도움이 될 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] "데이터 통신과 컴퓨터네트워크", Ohm사, 1994
- [2] "Sys 80+ 계통설명서, ABB-CE
- [3] "컴퓨터를 이용한 외부기기제어기술 및 인터페이스 기술", 한국산업기술원, 1999
- [4] 양승권, "차세대 I&C P-CCS 기능 및 설계 특성 연구보고서", KEPRI Technical Memo, pp.1-44, 1997
- [5] 1994."LAN의 기초지식", 청문각, 1988
- [6] "Modicon IBM Host Based Devices User's Guide", Version 2.0, Modicon, 1996.
- [7] "Lookout Process Control Software System", Reference Manual, National Instrument, 1996.
- [8] "표준 경수로 계통설비(상,하)", 한국전력공사 영광원전훈련센터, pp. 7-127, 1996.
- [9] 원전 DCS 설계 기준서 개발, EPRI URD CH.10, 1996.9