

차세대 원전 통신망 프로토타입의 처리율시험에 관한 연구

The Study for Throughput Testing for KNGR DCN Prototype

이신용철*, 박희운**
연세대학교

서울특별시 서대문구 신촌동 134

이순성, 경시채, 오양균, 박승민
한국전력기술(주)

대전광역시 유성구 덕진동 150

양승권, 경학영

한국전력공사 전력연구원

대전광역시 유성구 문지동 103-16

요약

기존 원전의 계측제어계통은 대부분 아날로그 기술을 사용하고 있으므로 예비부품의 확보 및 유지보수가 어렵고 정밀도가 떨어져서 많은 문제점이 있다. 그러한 문제점을 해결하기 위해 차세대 원전 계측제어계통에 최신 디지털 기술 및 통신망을 적용하여 설계하였다. 차세대 원전에 통신망을 적용함으로써 다른 기종간의 효율적인 정보교환, 설계 유연성 개선, 설치단순화, 배선량 감축 및 비용감축 등의 장점이 있다. 네트워크 기반 계측제어계통은 계통간의 신속하고 정확한 정보교환을 위해서는 신뢰성 있고 확실한 통신망이 필수적이다. 그러므로 고 신뢰도의 네트워크임을 입증하기 위하여 처리율 시험과 같은 네트워크 성능 시험을 수행해야 한다. 따라서 본 논문에서는 네트워크 부하량(Network Load) 분석 및 차세대 통신망 프로토타입에 대한 유효 처리율(Effective Throughput) 시험에 대하여 기술하였다.

Abstract

Conventional Instrumentation and Control (I&C) Systems using the analog technology in Nuclear Power Plants (NPP) have raised many problems regarding the lacks of spare parts, maintenance burden, inaccuracy, etc.. In order to resolve these problems, the Korean Next Generation Reactor (KNGR) I&C system has adopted new design features such as the use of digital computers and networks. There are many advantages such as effective data exchanges between different equipments, enhancement of design flexibility, simple installation, cable reduction and cost reduction due to the data communication networks application in KNGR. The network-based I&C systems depend on reliable and robust data communications to

* 현재 한국전력기술(주)에서 근무중임.

** 현재 원자력연구소에서 근무중임.

support the prompt and accurate exchange of information between systems. To prove the high reliability network, network performance test such as throughput test should be performed. Therefore this paper presents the network load analysis and effective throughput testing for the KNGR DCN (Data Communication Network) prototype.

1. 서론

최근 대부분의 원전 계측제어계통을 디지털 기술을 이용하여 설계하고 있으므로, 이로 인하여 원전 계측제어계통의 성능 향상, 유지보수비 감소, 신뢰도 향상 등을 얻을 수 있다. 그리고 디지털 기술로 이루어진 계측제어계통간에 데이터 교환을 기존의 실배선 (Hard-Wire) 방식이 아닌 새로운 기술인 통신망을 이용함으로써 다량의 아날로그 및 디지털 데이터를 공통 통신 선로를 통하여 서로 주고 받을 수 있다. 즉, 원전 계측제어분야에 신뢰도가 높은 통신망 기술을 적용함으로써 많은 현장 배선의 감소 효과를 가져오며 이로 인하여 유지보수 측면에서 역시 많은 경제적인 이득을 얻을 수 있다. 차세대 2단계 개발 과제의 한 부분으로 차세대 통신망을 개발하였으며, 통신망의 적용에 따른 성능요건 및 응답시간요건 등이 만족함을 입증하기 위하여 전체 계측제어계통을 안전계통, 제어계통, BOP 계통, 네트워크관리계통(Network Management System) 및 관련 감시계통으로 분류하여 프로토타입을 구성하고 시험을 수행하였다. 전체 계측제어계통의 구조는 [그림 1]과 같다.

본 논문에서는 처리율시험에 필요한 하부 각 계통에서 상위 감시계통에 전송되는 데이터량을 영광 5,6호기 설계에 근거하여 분석하였으며, 분석한 데이터량을 이용하여 보호, 제어, BOP 노드에 각 Simulation Data Load를 인가하고, 각 하부 노드에서 통신망(Workgroup Switch 및 Backbone Switch로 구성됨)을 거쳐 상위 감시계통인 IPS(Information Processing System)에 도달하는 데이터 패킷을 수집하는 방식의 세 가지 종류의 처리율 시험(Sustained Throughput Test, Maximum Throughput Test, Effective System Throughput Test)을 수행하였으며 이 중에서 가장 기본이 되는 유효처리율시험에 대하여 기술하였다.

2. 시험 개요

네트워크 처리율은 네트워크 성능을 평가하는 주요 설계요소 중의 하나로서, 네트워크 또는 부계통(Subsystem)에서의 단위 시간당 처리되는 입출력 데이터량으로 정의되며, 측정 단위는 PPS(Packets per Second) 또는 BPS(Bytes per Second)로 표현된다.

처리율시험은 차세대 원전 하위 계측제어계통인 제어, 보호 및 감시 계통의 게이트웨이로부터 상위 정보계통인 IPS 사이의 통신망을 통과하는데 소요되는 데이터 처리율 및 그 여유도를 측정하였다.

차세대원전 통신망 프로토타입의 처리율시험은 Sustained Throughput Test, Maximum Throughput Test, 그리고 Effective System Throughput Test의 세 가지 시험으로 이루어진다.

- 1) Sustained Throughput Test : 네트워크에서 패킷의 손실이 전혀 발생하지 않고 처리될 수 있는 최대 처리율로 정의되며, 시험은 계속제어계통 게이트웨이와 IPS 입출력 서버 사이의 모든 경로를 고려하여 처리율에 영향을 미치는 Critical 경로의 네트워크 플랫폼과 스위치 등을 대상으로 수행하였다.
- 2) Maximum Throughput Test : 네트워크에서 패킷의 손실이 발생하여 재 전송이 이루어지는 것까지도 고려한 최대 처리율로 정의되며, 시험 대상은 Sustained Throughput 시험과 마찬가지로 통신망의 주요 경로와 기기 등을 고려하여 선정되었다.
- 3) Effective System Throughput Test : 차세대원전 통신망에서 발생할 수 있는 정상상태 및 예상 가능한 최대 데이터가 발생하는 이상상태에서 전체 경로를 통과하는데 소요되는 데이터 처리율이 계통설계 요건에서 제시하는 Throughput 요건을 만족하는 지를 확인하기 위한 시험으로서, 차세대원전 통신망과 연계되는 계속제어계통의 구조를 분석하여 시뮬레이션한 시험 환경에서 전체 구간을 시험하였다.

본 논문에서는 기본적인 통신망 성능 시험인 유효처리율시험을 위한 시험장비의 구성, Test Case, 그리고 시험결과에 대하여 기술하였다.

2.1 네트워크 부하량 분석

네트워크의 처리율시험을 수행할 때 통신망에 인가되는 부하(Load)의 분석을 위해서는 먼저 각 하부계통(안전계통, 비안전계통, BOP 등)으로부터 IPS 계통으로 입력되는 모든 데이터에 대한 네트워크 부하를 분석하고, 가능한 실제 계속제어계통에서의 동작을 모델링하여 각 노드에서 분석한 데이터량을 인가하고 IPS에서 데이터를 수집함으로써 처리율 요건을 만족하는 지 시험 및 확인할 수 있다.

하부계통에 대한 데이터 부하는 영광 5,6호기 PMS DataBase에 근거하여 작성하였으며, BOP Computer에 대한 데이터 부하는 영광 5,6호기 PMS DataBase에 근거로 추출된 BOP 계통의 예상되는 데이터량을 추정하여 작성하였고, NMS Computer에 대한 데이터 부하는 Simulation 데이터가 아닌 실제 NMS Tool인 HP Openview Node Manager를 사용하여 인가하였다.

또한 실제 차세대 통신망과 프로토타입 환경과의 차이점을 보상하고 영광 5,6호기에 비해 차세대에서 늘어날 데이터 처리 용량을 고려하기 위하여 각 Computer에 대한 예상 데이터 부하량에 100%의 부하를 추가하였으며, 그 결과는 [표 1]에 요약하였다.

[표 1] NORMAL DATA LOADS

(A)	(B)	(C)	DATA NO		(F)	(G)
COMPUTER NAME	SYSTEM NAME	GATEWAY NUMBER	(D) 4 Byte	(E) 2 Byte	TOTAL LOAD (bit) ((D) * 4 + (E) * 2) * 8	TEST LOAD (kbyte) ((F) * 2) / 8
			SAFETY	CPCS		
	PPS	4	72	172	5,056	1.25
	ESFACS	4	0	24	384	0.125
	APC(S)	4	569	6	18,304	4.625
						11.875
NON-SAFETY	NPCS	2	43	92	2,848	0.75
	PCS	2	198	107	8,048	2
	NIMS	1	0	28	448	0.125
	APC(N)	2	10	16	576	0.125
	APS	2	6	20	512	0.125
						3.125
BOP	BOP-CCS	6	811	1200	45,152	11.25
	MISC	1	283	300	13,856	3.5
						14.75
NMS	NMS	1	N/A	N/A	N/A	run HP Openview

(A) 시험에 사용되는 컴퓨터 이름

(B) 해당 컴퓨터에서 시뮬레이션되는 계통 이름

(C) 각 계통에 포함되는 게이트웨이 수

(D) 아날로그 타입의 데이터 수

(E) 디지털 타입의 데이터 수

(F) 해당 컴퓨터에서 발생하는 예상 데이터 량 (bit)

(G) 해당 컴퓨터에 할당된 시험 데이터 량 또는 데이터 로드 (Kbyte), 시험시 데이터 패킷 생성의 편의성을 위해 (F) * 2 의 결과들 10³ 단위에서 반올림후 8을 나눈 값임.

2.2 초기 시험 환경

시험을 위한 프로토타입의 구조는 차세대원전의 계측제어계통 게이트웨이로부터 정보처리계통까지의 주요 정보처리 흐름을 모두 포함하도록 구성하였으며, [그림 2]와 같이 총 5대의 컴퓨터와 1대의 프로토콜 분석기, 그리고 2개의 10 Mbps 처리속도의 워크그룹스위치 및 2개의 100 Mbps 처리속도의 백본스위치 장비로 구성된다.

5대의 컴퓨터들은 각 연계계통을 모사하기 위해 사용되며, 안전관련 계측제어계통의 게이트웨이를 모사하는 "Safety Computer", 비안전 계측제어계통의 게이트웨이를 모사하는 "Non-Safety Computer", BOP 계측제어계통의 게이트웨이를 모사하는 "BOP Computer", 정보처리계통인 IPS의 입출력 서버를 모사하는 "Gateway Computer", 그리고 네트워크감시계통(NMS)을 모사하는

“NMS Computer” 등으로 구성된다. 각 계측제어시스템의 게이트웨이, 즉 Safety, Non-Safety, BOP Computer로 부터 모사된 발전소 공정신호들은 이중의 네트워크 카드를 통해서 10 Mbps 워크그룹스위치와 100 Mbps 백본스위치를 경유하여 Gateway Computer로 입력된다. 그리고 프로토콜 분석기는 시험기간동안 네트워크를 감시 및 분석한다.

3. 유효처리율시험

1) 구성 : 유효처리율시험 수행을 위한 설비 구성은 [그림 3]과 같다.

2) Test Case

유효처리율시험 수행시 인가하기 위해 작성한 Test Case는 [표 2]와 같다.

[표 2] 유효처리율시험을 위한 Test Case

1) LM :	2) LOAD GENERATOR = CVI, LANSLEUTH, OPENVIEW
	3) TEST LOAD = 95 kbps, 25 kbps, 118 kbps, OPENVIEW
4) LD :	SAFETY, NONSAFETY, BOP, NMS
5) LGS :	L01095PG = Normal Load for Safety Gateways
	L02025PG - Normal Load for NonSafety Gateways
	L03118PG - Normal Load for BOP Gateways
	L040PVPG - Normal Load for NMS
6) TS :	SAFETY : CVI, L01095PG
	NONSAFETY : CVI, L02025PG
	BOP : LANSLEUTH, L03118PG
	NMS : OPENVIEW, L040PVPG
7) TM :	GATEWAY : NETMONEO :300 kbps + 10 %

네트워크 시험에서 사용되는 Test Case의 각 부분에 대한 정의는 다음과 같다.

1) LOAD MODEL(LM) : 시험에서 사용되는 LOAD GENERATOR의 이름과 시뮬레이션 되는 TEST LOAD로 구성된다.

2) LOAD GENERATOR는 데이터 로드를 발생시키는 소프트웨어 또는 하드웨어의 이름이다.

3) TEST LOAD는 LOAD GENERATOR로 시뮬레이션 하는 데이터 부하의 양이다.

4) LOAD DISTRIBUTION(LD) : 시험에 사용되는 데이터 부하가 발생하는 컴퓨터들의 이름으로서 한대만 사용되는 경우는 해당 없음을 표시한다.

5) LOAD GENERATOR SCRIPT(LGS) : 발생하는 데이터 부하를 기술하는 키보드 매크로 파일, 파라미터, 또는 명령문 등으로서 다음과 같이 정의된다;

LXXYYYYZZ, 여기서, L : Load Script ID, XX : Sequential No of Computer,
 YYY : 부하량(Kbps),
 ZZ : Load Generator Type

예) L01010PG = Packet Generator를 사용하여 한대의 컴퓨터에 10 Kbps의 데이터 부하를 모사하는 Load Script 이름

- 6) TEST SCRIPT(TS) : 데이터 부하 모델에 대한 실제 사용 방법을 기술하는 부분으로서, 시험에서 데이터 부하를 발생시키는데 사용되는 컴퓨터 각각에 대해 다음과 같이 정의한다:

Source Computer Name: Load Generator, LGS

여기서, Source Computer Name : 데이터 부하를 발생시키는 컴퓨터 이름,

Load Generator : 2)에서 정의한 데이터부하 발생기 이름 중에서 해당이름,

LGS : 5)에서 정의된 Load Script 이름 중에서 해당 이름

- 7) TEST MONITOR(TM) : 시험에서 데이터 부하를 감시하는데 사용되는 컴퓨터 및 도구의 이름을 기술하는 부분이다.

여기서, Destination Computer Name : 데이터 부하를 수집하는 컴퓨터 이름,

Monitor Name : 데이터 부하를 수집하는데 사용되는 하드웨어 또는 소프트웨어 이름

3) 시험설비 구성상의 특징

이러한 시험설비 구성은 차세대통신망에서 발생할 수 있는 정상 상태에서의 데이터 처리율이 계통설계 요건의 처리율 요건을 만족하는 지를 확인하기 위한 설비구성으로서, 차세대 게이트웨이들을 안전계통, 비안전계통, BOP 등으로 그룹을 구성하여 안전계통과 비안전계통을 위한 게이트웨이는 각각의 해당 워크그룹 스위치들에 연결하고, BOP Gateway는 백본스위치에 연결하며, 또한 네트워크관리계통을 추가하여 보다 실제적인 시뮬레이션 환경하에서 전 구간을 시험한다. 각 시뮬레이션 컴퓨터에서는 스위치로 Test Load를 전송하고, 네트워크관리계통 컴퓨터에서는 관리용 데이터 패킷을 전송/수신하며, Gateway 컴퓨터에서 수집한 결과를 측정하도록 구성하였으며, 시험 동안 네트워크의 안정상태(Steady State)를 확인하기 위해 프로토콜 분석기를 이용하여 계속적으로 패킷을 분석한다. Test Case는 총 4개 컴퓨터의 Network Platform과 3개의 스위치가 모두 시험과정에 포함되도록 작성하였다. 시험은 CVI 소프트웨어를 사용하여 [표 1]의 시뮬레이션 데이터 패킷을 각 컴퓨터에서 전송하고 Gateway 컴퓨터에서 결과를 측정하도록 구성하였다. 시험결과의 측정은 Gateway 컴퓨터의 Network Platform에 의한 처리율을 포함하도록 "Netmon" 소프트웨어를 사용하였다.

4) 시험 결과

정상 상태에서의 차세대 통신망 처리율시험 수행 결과는 [표 3]에 제시되어 있다. [표 3]에서 3번의 시험 중에서, 2번째 시험시 frame drop이 1개 발생하였다. 이때의 Test Case는 Network Utilization이 총 Bandwidth의 약 3% 정도이었으므로 frame drop이 발생되어서는 안된

다. 이는 Network Packet을 Capture 하는 “Microsoft Network Monitor” Tool의 성능 때문에 발생하였으며, 추후 더 좋은 Tool 로 교체하여 시험을 수행하는 것이 필요하다.

1번째와 3번째 시험에서는 데이터 손실이 거의 없었으며 이로써 정상 상태에서의 차세대 통신망의 Throughput 성능은 매우 좋은 것으로 입증되었다. 이에 추가하여 본 논문에서는 기술하지 않은 Sustained / Maximum Throughput 시험에서도 차세대 통신망의 성능이 전혀 문제없음이 확인되었다.

[표 3] 유효처리율시험 수행 결과

TEST CASE ID : TE-SYS-001 TES NO : 001

(RUN 1)	SOURCE			DESTINATION			ERROR SUMMARY			
	Node Name	Trans. Data Kbps (A)	Generated Option (B)	Node Name	Time Sec (C)	Received Byte (D)	Throughput Kbps (E)	Total Frame (F)	Data Loss Frame (G)	Data Loss % (H)
	BOP	14.75	1514 / 102.64	Gateway	30.595	445,116	14.549	294		
	Safety	11.875	N/A	Gateway	30.595	383,251	12.527	280		
	NonSafety	3.125	N/A	Gateway	30.595	101,897	3.331	93		
	NMS	OpenView	N/A	Gateway	30.595	-	0.000	0		
	Gateway	N/A	N/A	Others	30.595	9,870	0.323	183		
TOTAL		29.75			30.595	940,134	30.728	850	-	0.000%
(RUN 2)	BOP	14.75	1514 / 102.64	Gateway	30.547	443,602	14.522	293		
	Safety	11.875	N/A	Gateway	30.547	383,191	12.544	279		
	NonSafety	3.125	N/A	Gateway	30.547	101,897	3.336	93		
	NMS	OpenView	N/A	Gateway	30.547	-	0.000	0		
	Gateway	N/A	N/A	Others	30.547	10,386	0.340	192		
TOTAL		29.75			30.574	939,076	30.742	857	1	0.117%
(RUN 3)	BOP	14.75	1514 / 102.64	Gateway	30.541	445,116	14.574	294		
	Safety	11.875	N/A	Gateway	30.541	384,010	12.574	288		
	NonSafety	3.125	N/A	Gateway	30.541	98,610	3.229	90		
	NMS	OpenView	N/A	Gateway	30.541	-	0.000	0		
	Gateway	N/A	N/A	Others	30.541	10,098	0.331	187		
TOTAL		29.75			30.541	937,834	30.707	859	-	0.000%
AVERAGE		(I)			(J)	(K)	(L)	(M)	(N)	(O)
		29.75			30.57	939,015	30.726	855.333	0.333	0.039%

4. 결 론

차세대 원전에서 대부분의 계측제어계통이 디지털화 됨에 따라 서로 다른 기종간의 효율적인 정보교환, 설치단순화, 케이블 감축 및 비용 절감 등을 위하여 차세대 통신망을 설계하였다.

데이터 통신망의 건전성은 발전소 전체의 안전과 성능에 아주 중요하며, 특히 새로운 기술을 원자력 발전소 설계에 적용하기 위해서는 통신망의 성능 분석과 Prototype을 통한 시험 분석을 수행하여 통신망의 적용이 안전에 영향을 끼치지 않음과 기술성을 입증하여야 한다.

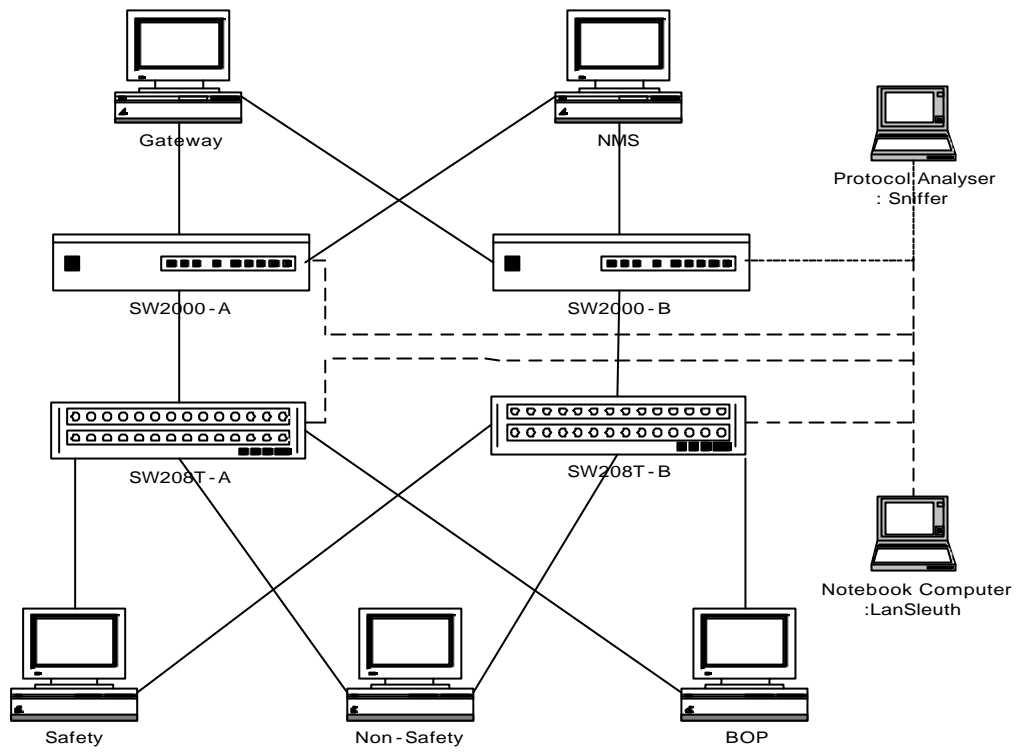
그러므로 본 논문에서는 정보통신망에 대한 Network Load를 분석하여 프로토타입을 구성하고, Test Cases를 개발하였으며, 세 가지의 처리율시험(Sustained Throughput Test, Maximum Throughput Test, Effective System Throughput Test)에 대하여 각 Test Cases를 이용하여 가장 기본적인 Throughput Test 방법인 유효처리율시험에 대한 Prototype Testing을 수행하였다.

시험 수행 결과 1번째와 3번째 시험에서는 데이터 손실이 전혀 발생하지 않았으며 2번째 시험에서는 1개의 frame drop이 발생하였으나 이는 Network Packet을 Capture 하는 "Microsoft Network Monitor" Tool의 성능 때문에 발생한 것으로 추정되며, 추후 더 좋은 Tool로 교체하여 시험을 수행할 필요가 있음을 확인하였다.

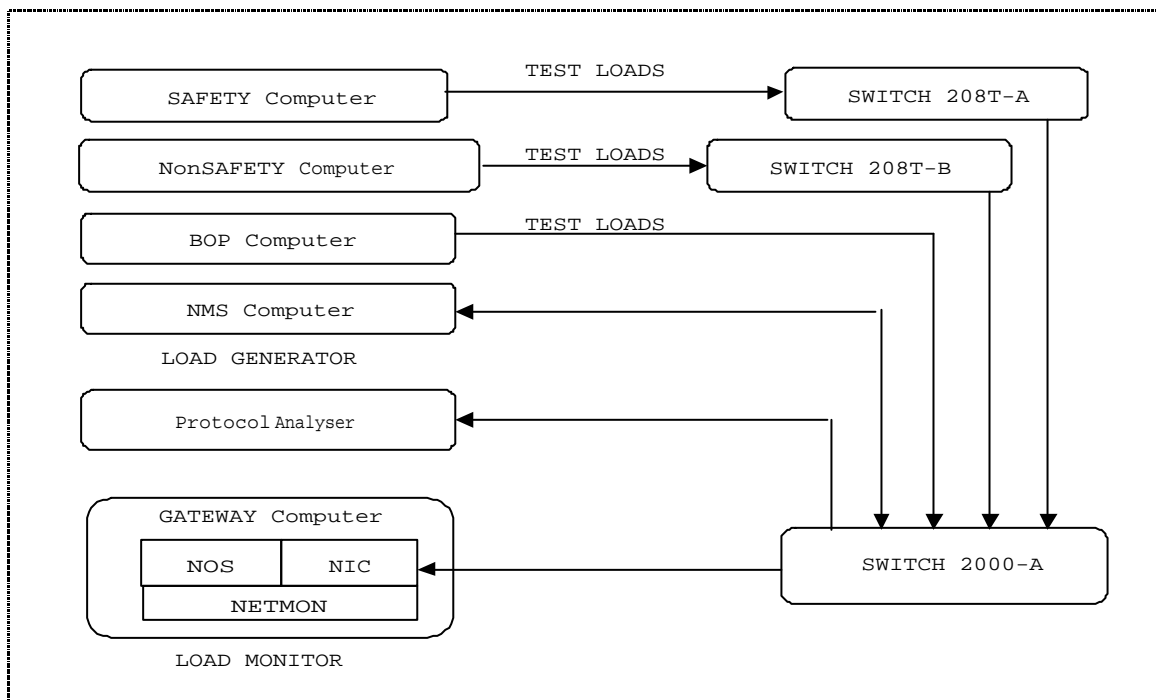
결론적으로 3번의 시험에서 Data Loss가 거의 발생하지 않음을 확인함으로써 정상 상태에서의 차세대통신망의 뛰어난 처리율을 입증하였다. 그러므로 차세대통신망은 요구하는 성능을 충분히 만족할 수 있으므로 처리율에 대한 성능측면에서는 문제가 없으므로 적용 가능성이 확인되었다. 본 논문에서는 기술하지 않았지만 차세대 2단계에 Network Response Time Test, Configuration Test, Redundant Network 구성을 위한 Failover 기능 시험 및 Sustained / Maximum Throughput 시험 등을 수행하였으며, 이러한 시험 수행결과에서도 차세대 통신망의 성능 및 신뢰성에 전혀 문제없음이 확인되었다.

5. 참 고 문 헌

- [1] 이광대, 정학영, 이순성, 신용철, 차세대 원전 계측 제어 Network Load Modeling 및 성능 분석, 제 13차 한국자동제어학술회의, pp. 1257 ~1260, 1998.
- [2] IEEE Std. 7-4.3.2, IEEE Standard for Digital Computers in Safety Systems of Nuclear Power Generating Stations, 1993.
- [3] EPRI Utility Requirements Document, Chapter 10 : Man-Machine Interface System, 1997.
- [4] NUREG/CR-6082, Data Communications, 1993.
- [5] Robert W. Buchanan, Jr., The Art of Testing Network Systems, Wiley Computer Publishing, 1996.



[그림 2] 처리율시험을 위한 차세대통신망 프로토타입 구조도



[그림 3] 유효처리율시험을 위한 구성