

## 플랜트 가용도 평가 시뮬레이터의 신뢰성 검증에 관한 연구

이홍철<sup>1\*</sup> · 황인주<sup>1</sup> · 이현동<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국건설기술연구원, <sup>2</sup>한국건설기술연구원 & 과학기술연합대학원대학교

### A Study on the Reliability Verification of Availability Simulation for Complex Plant

Hongcheol Lee<sup>1\*</sup>, Inju Hwang<sup>1</sup>, and Hyundong Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

<sup>2</sup>Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology & University of Science and Technology

Received 11 November 2014; received in revised form 3 December 2014; accepted 5 December 2014

#### ABSTRACT

Recently, a number of evaluation studies on availability of plant were carried out. This study was conducted to verify of the reliability of a simulation with some variable such as configuration of process, failure probability density function and the number of iteration times for the natural gas liquefaction plant. The error rate of the KICT-RAM solution was evaluated as 0.03~1.79% compared with the result of the MAROS(commercial solution). And the error-rate change was observed in the range of 0.03~1.75 on the condition of the iteration times as 30, 100, 250. As a result the plant availability evaluation approach of KICT-RAM solution was verified as reasonable. However, the careful approach was required to use the solution because the error-rate increased according to iteration times change.

**Key Words:** Availability, Failure distribution, Maintainability, Mean time to failure (MTTF), Mean time between failure (MTBF), Mean time to repair (MTTR), Reliability

## 1. 서 론

플랜트는 공정 구성에 따라 누설, 점화, 부식, 침착 등 다양한 형태의 노후 현상이 진행되며, 이에 따르는 시스템 생산성 저하는 주요한 설계 이슈로 가용도(availability) 평가에 대한 관심이 증가하고 있다<sup>[1,2]</sup>.

특히 시스템 성능의 개선을 위한 시설 대형화에

따라 사고나 기능 상실 등 위험도 또한 크게 증가하여 기능 유지를 위한 안정성과 신뢰성 확보가 매우 중요시되고 있다.

본 논문과 관련된 주요 연구로 Sharma<sup>[3]</sup>는 시스템의 신뢰성, 가용성 및 유지보수성 분석방법이 고장 발생을 감소시켜 시스템 신뢰성을 개선하고, 유지보수 계획을 최적화하여 가용성을 극대화하는 등 설계 수정을 수행하는데 효과적임을 시하였다.

Bosman<sup>[4]</sup>은 LNG 플랜트를 대상으로 정량적 가용도 평가를 실시하였으며, Borgonovo<sup>[5]</sup>는 Monte-Carlo 시뮬레이션 기법이 플랜트 운영, 유지보수

\*Corresponding Author, hlee@kict.re.kr  
©2015 Society of CAD/CAM Engineers

전략 수립 과정에서 불확실성을 최소화할 수 있음을 증명하였다.

Lee<sup>[6]</sup>는 천연가스 액화계통을 대상으로 RAM (reliability, availability, maintainability) 성능 평가를 위한 해석 영향인자 평가에 대한 연구를 시도한 바 있다.

본 논문은 한국건설기술연구원에서 독자 개발한 가용도 평가 시뮬레이터인 KICT-RAM solution의 해석 결과에 대한 신뢰성 검증에 관한 연구로서 천연가스 액화공정을 대상으로 KICT-RAM solution의 가용도 평가결과를 노르웨이 DNV사의 가용도 평가 상용 시뮬레이터인 MAROS의 해석결과와 상호 비교하여, 발생 오차 수준을 검증한 결과이다.

## 2. 가용도 해석기법

### 2.1 기본 개념

가용도의 기본개념은 Fig. 1에 펌프를 예로 도시한 것과 같이 고장이나 수리시간이 없이 연속적으로 작동하여 이상적인 운전이 가능한 잠재적 가용 시간에 대한 실제 운전시간의 비로서 정의되며, 실제 장비의 상태, 설치환경, 운전조건에 따라 변화한다.

플랜트는 수 많은 공정, 기자재/장치 등으로 구

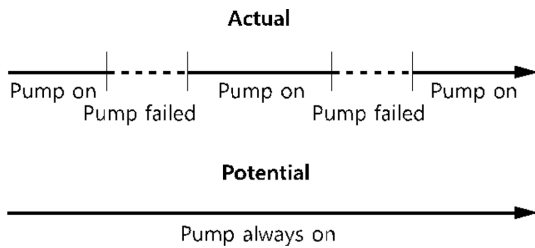


Fig. 1 The concept diagram of availability

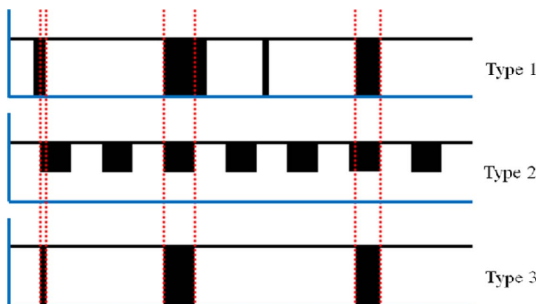


Fig. 2 Basic types of equipment failure event

성되기 때문에 다양한 형태의 고장, 수리(정상상태 복구) 유형이 존재하게 되어 근본적으로 많은 불확실성이 내재되어 있다.

이러한 불확실성을 고려하여 시스템에서 일어날 수 있는 다양한 이벤트를 가정할 수 있으며, 본 논문에서는 Fig. 2의 Type 1에 도시한 것과 같은 불특정 원인에 의한 비계획적 운전 정지, Type 2에 도시한 것과 같은 정기적 정비 등에 의한 계획적 운전 정지, Type 3에 도시한 것과 같이 Type 1, Type 2의 조합에 의한 복합적 운전 정지 유형을 가정하였다.

플랜트의 비계획적인 운전 정지는 불규칙적으로 발생하며, 보통은 주로 시스템 구성 장비의 고장에 의한 것이 대부분이며, 특별한 수학적 분포 함수를 따르는 형태로 발생된다.

반대로 계획적인 고장 이벤트 생성은 수명주기 등이 알려져 있는 장비의 유지보수 계획에 의한 것이 대부분으로 장비의 정기점검이나, 교체시점에 발생된다.

이러한 가정은 모든 시스템, 공정, 기자재/장치에 대하여 동일하게 적용되며, 이벤트의 조합에 의하여 전체시스템의 운전상태는 Fig. 3과 같은 형태의 시점별 가동률로 나타나게 된다.

고장 이벤트 개념을 보다 상세히 정리하면 구성 장비는 내구수명 또는 운전 신뢰성에 따라 고장 발생 전까지 일정기간 정상운전을 하게 된다.

이후 고장이 발생하여 운전이 부분 또는 완전 중단되면 원인 파악을 위한 점검, 수리, 시운전 등 과정에서 운전을 정지하게 된다.

이러한 시스템, 기계, 장치 등이 고장이 발생했을 때 보전에 필요한 시간의 합을 다운타임(down time)으로 정의한다.

여기서 모든 기기 및 시스템은 수리가 완료되었다 해도 정상가동에는 일정한 기동(start-up) 시간

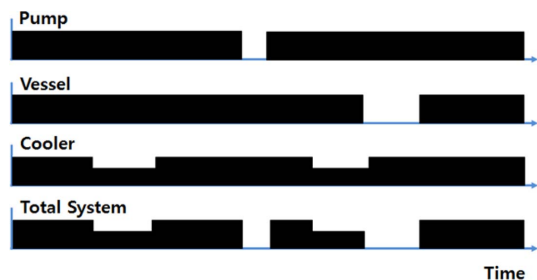


Fig. 3 Schematic diagram of system operating

이 필요하며, 복잡한 플랜트 시스템의 경우에는 정상가동까지 상당한 시간을 요한다.

신뢰도를 다룰 때에는 고장률( $\lambda$ , failure rate)이라는 척도를 자주 쓰게 되는데, 이는 고장확률밀도함수( $f$ , failure density function)와 신뢰도( $R$ , reliability)의 비로 식 (1)과 같이 정의된다.

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)} \quad (1)$$

즉, 고장률  $\lambda(t)$ 는  $t$  시간까지 고장이 없이 잔존하는 확률인 신뢰도  $R(t)$  중에서  $t$  시간 이후의 단위시간에 고장 발생  $f(t)$ 의 조건부 확률이 된다.

따라서 고장률과 신뢰도와의 미분형태인 식 (1)을 시간으로 적분하면 식 (2)와 같은 관계가 성립한다.

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \quad (2)$$

고장률에 시간을 곱한 개념인 위험도 함수(hazard function)는 정상적인 운전상태의 장치가 해당 시점에서 오작동이 일어날 확률을 표현한 것으로 신뢰도나 가용도를 계산하는 데 직접적으로 이용된다.

기자재/장비의 신뢰성은 MTTF(mean time to failure), MTBF(mean time between failure)라는 용어로 나타내며, MTTF는 고장 사이의 평균 시간, MTBF는 작동을 시작하여 고장이 날 때까지 가동된 평균시간 의미한다.

고장 발생까지 시간으로 나타내는 MTTF는 고장확률밀도함수로 식 (3) 및 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$MTTF = \int_0^\infty tf(t)dt \quad (3)$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (4)$$

보전성의 척도이면서 가용도를 계산하기 위한 개념인 MTTR(mean time to repair)은 평균수리시간을 의미하며 수리시간이 지수분포를 따른다면 평균수리시간은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$MTTR = \frac{1}{\mu} \quad (5)$$

Fig. 4에서 도시한 것과 같이 생애주기 동안 수

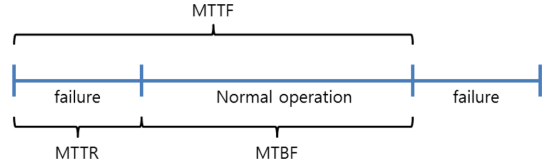


Fig. 4 The concept diagram of MTTF, MTBF, MTTR

리(repair)를 통하여 운전되는 시스템의 경우에 고장이 일어나는 평균적인 시간간격(MTBF: mean time between failure)과 이러한 고장률에 따라 평균적인 보전(수리)시간(MTTR: mean time to repair)을 산정할 수 있다.

이러한 정의를 이용하면 잠재적인 운전시간은 MTBF(mean time between failures)와 MTTR(mean time to repair)의 합으로 계산될 수 있다. 실제 운전시간은 파손 또는 고장(failure)이 일어나는 시간간격인 MTBF이므로 가용도는 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Availability = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (6)$$

이러한 가용도에 영향을 미치는 요소로 시스템과 기자재의 신뢰성과 보전성을 들 수 있는데, 신뢰성에 영향을 미치는 요소는 환경, 사용조건 등 위험요인에 기인하는 고장빈도이며, 이러한 고장 빈도는 보전성에도 확률분포에 따라 영향을 미친다.

### 2.2 가용도 시뮬레이션 기법

본 논문에서 제시한 KICT-RAM solution은 Monte-Carlo 시뮬레이션 기법을 이용하여 시스템의 가용도를 평가하였다.

Monte-Carlo 시뮬레이션은 모의실험으로 불확실한 문제를 예측하기 위하여 실제와 유사한 상황의 가상실험을 반복적으로 수행하여 발생 가능한 모든 상황에 대한 불확실성을 최소화하는 것을 말한다.

즉, 반복에 의해 일정한 확률을 얻을 수 있는 주사위와 같은 원리로 불확실성을 정량화하여 결과값을 도출하는 확률적인 방법에서 유래한다.

Monte-Carlo 시뮬레이션은 난수(random number) 발생과 간단한 알고리즘의 반복계산의 특성을 가지고 있으므로 컴퓨터를 사용하여 계산하기에 적합한 방법이다. 따라서 시뮬레이션 수행을 통한 신뢰도가 있는 결과 값을 얻기 위해서는 많은 반복

횟수를 요구한다.

불확실한 상황 하에서 모형의 확률요소들에 대하여 Monte-Carlo 시뮬레이션의 시행절차는 다음과 같다.

- ① 문제 정의: 고장확률밀도함수에 따른 수리시간과 운전시간을 계산하여 가용도를 계산한다.
- ② 확률변수 설정: 확률변수로 고장률을 설정한다.
- ③ 확률변수의 확률분포를 설정: 시뮬레이션 변수로 지수함수, 정규함수, 와이블함수를 대표적인 확률분포로 설정한다.
- ④ 확률변수의 난수 발생: 확률분포의 범위 내에서 난수 발생에 의한 고장률을 가정한다.
- ⑤ 누적확률분포를 이용한 평균 고장률 산정: 입력된 초기 데이터를 이용하여 해당시점 또는 구간에서 평균 고장률을 산정한다.
- ⑥ 해당구간 또는 시점에서 난수 및 초기입력 데이터에 의한 확률변수(고장률)들을 비교하여 고장 여부를 판단한다.
- ⑦ 고장 여부에 따라 생애주기에서 고장시 수리시간, 운전시간 산정하고, 다음 난수와 비교 실시
- ⑧ 상기 ③항에서 ⑦항을 반복한다.

### 2.3 검증방법 및 조건

본 연구에서는 K-RAM solution을 이용한 가용도 평가결과를 상용 프로그램(MAROS)을 이용한 결과와 비교를 통하여 결과 신뢰성을 검증하였다.

시뮬레이터에 적용한 기본개념은 플랜트를 구성하는 모든 기자재/장비에 대하여 특정 확률분포에 따르는 난수를 반복적 발생하여 불확실성을 제거할 수 있도록 모사 시뮬레이션을 수행하였다.

신뢰성 검증을 위한 대상은 Fig. 5에 도시한 바와 같이 기자재 목록이 확보된 100톤/일 규모 천연가스 액화 플랜트를 대상으로 실시하였다.

비교변수로는 기자재의 수량과 반복적인 시뮬

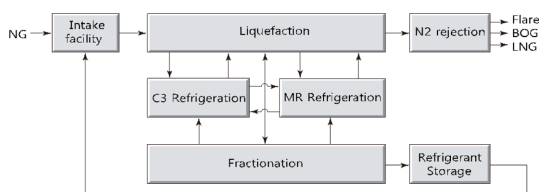


Fig. 5 Process of small sized test-bed of LNG plant for availability simulation

레이션 횟수, 적용된 고장확률밀도함수 등으로 설정하였으며, 최종적으로는 계산된 결과의 정규분포를 분석하는 방식을 도입하였다.

초기 입력값은 현장에서 검증을 통하여 확보된

Table 1 The equipment data of LNG process (Source : OREDA Handbook 2009)

	Failure rate (#/10 <sup>6</sup> h)	MTTR (h)	Remarks
Compressor	1038.22	6.00	Reciprocating
Compressor	479.86	23.00	Centrifugal
Gas turbine	966.87	28.00	
Turbine generator	75.26	24.00	
Diesel engine generator	24.13	43.00	
Flash drum	195.43	4.90	
Vessel	151.67	9.70	
Column	151.67	9.70	
Separator	250.41	2.40	
Refrigerant tank	250.41	2.40	
Cryogenic HX	10.15	336.00	
Fan-fin cooler	98.21	4.00	
Compressor	1038.22	6.00	Reciprocating
Compressor	479.86	23.00	Centrifugal
Gas turbine	966.87	28.00	
Turbine generator	75.26	24.00	
Diesel engine generator	24.13	43.00	
Flash drum	195.43	4.90	
Vessel	151.67	9.70	
Column	151.67	9.70	
Separator	250.41	2.40	
Refrigerant tank	250.41	2.40	
Cryogenic HX	10.15	336.00	
Fan-fin cooler	98.21	4.00	
Evaporator	10.15	1.50	
Condenser	10.15	1.50	
Re-boiler, Heater	74.21	2.50	Electric
Pump	356.16	18.00	Electric
Flow indicator	10.15	2.00	
Level indicator	7.61	2.30	
Temp. indicator	9.37	9.70	
Press indicator	0.00	0.00	
Control V/V	16.80	4.6	
Anti-surge V/V	8.46	3.40	

실패율, 수리소요시간 등으로 플랜트 현장데이터를 기반으로 작성된 상용 데이터베이스(OREDA Handbook 2009)를 이용하였다.

가용도 차이는 백분율의 형태로 산정하였으며, 프로그램간 가용도 차이값을 기준 프로그램에서 계산된 가용도 값으로 나누어 계산하였다.

모든 확률밀도함수 조건에 대하여 특정 기자재 그룹별 고장률을 가중할 때는 다른 기자재 그룹은 초기 입력된 기준치를 적용하여 기자재별 가용도에 미치는 영향을 평가하였다.

이상과 같은 대상, 해석모델 및 기법을 이용하여 연산과정을 구현하였으며, 이에 입력되는 초기값은 Table 1에 정리하였다.

### 3. 검증 결과 및 고찰

상기와 같은 대상, 적용기법, 경계조건을 이용하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

Fig. 6~Fig. 8은 기자재 고장확률이 지수분포, 정규분포, 와이블분포를 따르는 경우를 가정 한 K-RAM solution과 MAROS의 적용결과를 비교한 것이다.

Fig. 6은 기자재의 고장확률이 지수분포를 따르는 경우 기자재 수 변화에 따른 검증결과이다.

기자재 수가 50개인 경우의 KICT-RAM solution과 MAROS를 이용한 가용도는 91.14%, 91.40%, 기자재 수가 58개인 경우의 가용도는 95.63%, 95.66%, 기자재 수가 162개인 경우의 가용도는 90.02%, 90.05%로 계산되었다.

이 경우에 두 프로그램의 가용도 평가결과의 차이는 기자재 수가 50개인 경우에 0.30% 이하, 기자재 수가 58개인 경우에 0.03% 이하, 기자재 수

가 162개인 경우에 0.03% 이하로 평가되었다.

Fig. 7은 기자재의 고장확률이 정규분포를 따르는 경우 기자재 수 변화에 따른 검증 결과이다.

기자재 수가 50개인 경우의 KICT-RAM solution과 MAROS를 이용한 가용도는 96.56%, 94.87%, 기자재 수가 58개인 경우 가용도는 98.12%, 97.29%, 기자재 수가 162개인 경우 가용도는 96.26%, 94.60%로 계산되었다.

이 경우에 두 프로그램에서 가용도 차이는 기자재 수가 50개인 경우에 1.79% 이하, 기자재 수가 58개인 경우에 0.85% 이하, 기자재 수가 162개인 경우에 1.75% 이하로 평가되었다.

Fig. 8은 기자재의 고장확률이 와이블분포를 따르는 경우 기자재 수에 따른 비교 결과이다.

기자재 수가 50개인 경우의 KICT-RAM solution과 MAROS를 이용한 가용도는 91.12%, 91.11%, 기자재 수가 58개인 경우의 가용도는 95.53%, 95.50%, 기자재 수가 162개인 경우의 가용도는 89.41%, 89.74%로 계산되었다.

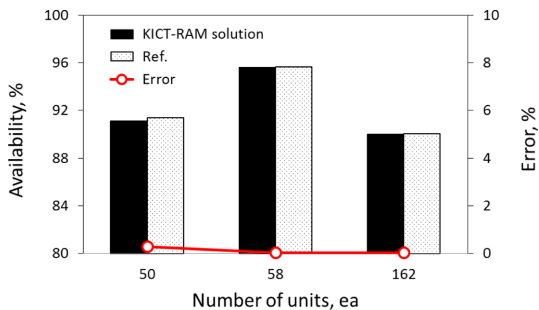


Fig. 6 Comparison of availability with variable number of equipment in exponential probability density function

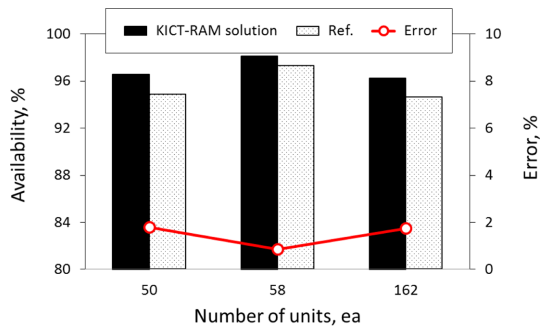


Fig. 7 Comparison of availability with variable number of equipment in normal probability density function

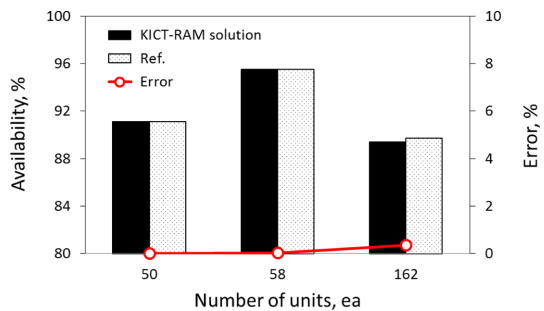
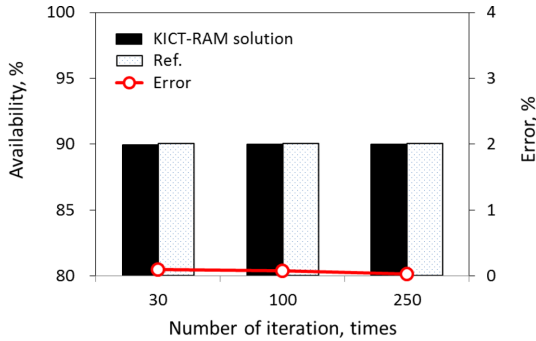
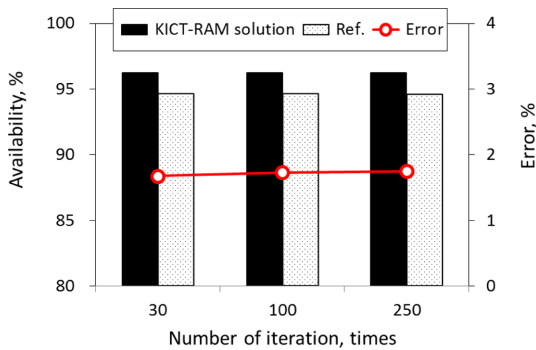


Fig. 8 Comparison of availability with variable number of equipment in Weibull probability density function

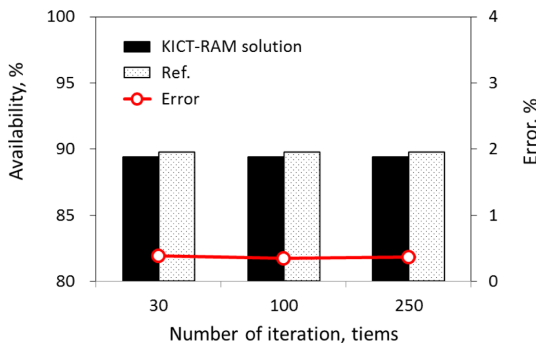
이 경우에 두 가지 프로그램에서 가용도 차이는 기자재 수가 50개인 경우에 0.01% 이하, 기자재 수가 58개인 경우에 0.03% 이하, 기자재 수가 162개인 경우에 0.37% 이하로 평가되었다.



**Fig. 9** Comparison of availability with variable iteration times in exponential probability density function and 162 equipment



**Fig. 10** Comparison of availability with variable iteration times in normal probability density function and 162 equipment



**Fig. 11** Comparison of availability with variable iteration times in Weibull probability density function and 162 equipment

Fig. 9~Fig. 11은 기자재 수가 162개로 구성된 시스템에 대하여 기자재의 고장확률이 지수분포, 정규분포, 와이블분포일 경우, K-RAM solution과 MAROS 프로그램에서 반복계산 횟수에 따른 가용도를 비교한 것이다.

Fig. 9은 기자재의 고장확률밀도함수가 지수분포를 따르는 경우 반복계산 횟수에 따른 K-RAM solution과 MAROS를 이용한 가용도 평가결과를 비교한 결과이다.

반복계산 횟수가 30회인 경우 K-RAM solution과 MAROS의 가용도는 89.96%, 90.05%, 반복계산 횟수가 100회 경우 가용도는 89.98%, 90.05%, 반복계산 횟수가 250회인 경우 가용도는 90.02%, 90.05%로 계산되었다.

두 프로그램에서 가용도 차이는 반복횟수가 30회인 경우에 0.09% 미만, 반복회수가 100회인 경우에 0.07% 이하, 반복횟수가 250회인 경우에 0.03% 이하로 평가되었다.

Fig. 10는 기자재의 고장확률밀도함수가 정규분포를 따르는 경우 반복계산 횟수에 따른 가용도 평가결과를 비교한 결과이다.

반복계산 횟수가 30회인 경우 K-RAM solution과 MAROS의 가용도는 96.24%, 94.65%, 반복계산 횟수가 100회 경우 가용도는 96.26%, 94.62%, 반복계산 횟수가 250회인 경우 가용도는 96.26%, 94.60%로 계산되었다.

가용도 평가결과의 차이는 반복계산 횟수가 30회인 경우에 1.68% 이하, 반복계산 횟수가 100회인 경우에 1.73% 이하, 반복계산 횟수가 250회인 경우에 1.75% 이하로 평가되었다.

Fig. 11은 기자재의 고장확률이 와이블분포를 따르는 경우 반복계산 횟수에 따른 가용도 비교 결과이다.

반복계산 횟수가 30회인 경우 K-RAM solution과 MAROS의 가용도는 각각 89.41%, 89.76%, 반복계산 횟수가 100회 경우 가용도는 89.42%, 89.73%, 반복계산 횟수가 250회인 경우 가용도는 89.41%, 89.74%로 계산되었다.

두 프로그램에서 가용도 차이는 반복횟수가 30회인 경우에 0.38% 이하, 반복횟수가 100회인 경우에 0.35% 이하, 반복횟수가 250회인 경우에 0.37% 이하로 평가되었다.

몬테카를로 시뮬레이션에 기초한 가용도 분석 결과의 타당성 검토를 위하여 통계적 신뢰수준과

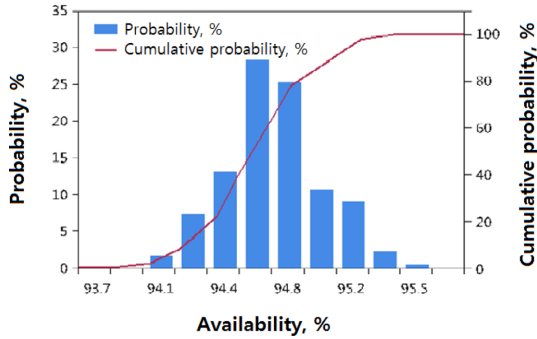


Fig. 12 Histogram of availability results

오차범위를 검토하였다.

Fig. 12는 대표적인 사례로서 정규분포 고장확률을 갖는 162개 구성장비에 대하여 가용도 평가를 250회 반복 계산한 경우의 히스토그램을 도시한 결과이다.

Fig. 12에 도시된 250회의 가용도 평가결과는 정규분포의 가정을 추종하고 있으며, 실선으로 표기된 누적분포함수 또한 정규분포의 특성을 반영하고 있다.

이는 통계적으로 95% 신뢰수준과  $\pm 0.3\%$  오차범위를 갖는 결과를 제시하고 있어 통계적으로 유의미한 결과임을 나타내고 있다.

#### 4. 결 론

이상과 같이 복잡한 공정계통을 갖는 플랜트의 가용도 시뮬레이션 방법의 적합성에 관한 타당성을 검증하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

플랜트의 복잡한 구성에 따른 가용도를 상용프로그램과 비교 검증 결과 오차율은 0.03~1.79% 수준으로 적용성에 문제가 없는 것으로 평가되었다.

반복 수행 횟수에 따른 가용도 차이는 30회 이상인 경우에서 큰 차이를 보이고 있지 않으나, 반복계산 횟수가 증가함에 따라 오차율이 감소하고

있어 보다 정밀한 계산을 위해서는 반복계산 횟수에 대한 민감도 평가가 필요한 것으로 판단된다.

이상으로 기자재/장비 고장 유형 시나리오, Monte-Carlo 시뮬레이션 기법의 적용성을 확인하였으며, 향후 정규분포 등 고장 밀도함수의 적용범위 및 난수 발생기법 등에 관한 연구를 통하여 시뮬레이션의 신뢰도를 높이고자 한다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 주요사업(BIM/GIS 플랫폼기반 건설공간정보 통합운영기술 개발) 과제의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

#### References

1. Lee, H.C. and Hwang, I.J., 2011, A Study on the Evaluation of RAM Performance for Test-bed of LNG Plant, *Proceeding of SAREK 2011 Summer Conference*, pp.281-284.
2. Kang, K.W., Yoon, M.O., Lee, H.C. and Hwang, I.J., 2012, A Study on the Availability with Failure Rate of Process for LNG Plant, *KJACR*, 24(4), pp.358-363.
3. Sharma, R.M. and Kumar, S., 2008, Performance Modeling in Critical Engineering Systems Using RAM Analysis, *Reliability Engineering and System Safety*, 93, pp.891-897.
4. Bosman, M., 1985, Availability Analysis of a Natural Gas Compressor Plant, *Reliability Engineering*, 11, pp.13-26.
5. Borgonovo, E., Marseguerra, M. and Zio, E., 2000, A Monte Carlo Methodological Approach to Plant Availability Modeling with Maintenance, Aging and Obsolescence, *Reliability Engineering and System Safety*, 67, pp.61-73.
6. Lee, H.C. and Hwang, I.J., A Study on the Applicability of RAM Evaluation Based on Reliability Theory for LNG Plant Test-bed, *Proceeding of SAREK 2011 Summer Conference*, pp.277-280.



**이 흥 철**

2002년 전북대학교 기계공학과 석사  
2002년~현재 한국건설기술연구원  
재직  
관심분야: Plant modular construction, Plant reliability assessment



**황 인 주**

1997년 성균관대학교 기계공학과 석사  
2003년 성균관대학교 기계공학과 박사  
1993년~1995년 대우자동차 연구원  
1997년~현재 한국건설기술연구원 재직  
관심분야: Plant modular construction, Virtual plant & simulator, Thermo-acoustics



**이 현 동**

1987년 한양대학교 환경공학과 석사  
1991년 한양대학교 도시공학과 박사  
1988년~현재 한국건설기술연구원 재직  
2007년~현재 과학기술연합대학원대학교 (전임)정교수  
2014년~현재 (사)융복합지식학회 부회장  
관심분야: Water works & Sewage system management, NPS/BIM/SWG