

## 성능 향상을 위해 전문가 시스템이 적용 된 센서 기반 경보 시스템

주 승 환\*, 서 회 석\*

### Sensor-based Alert System applying Expert System for Performance Improvement

Seung-Hwan Ju\*, Hee-Suk Seo\*

#### 요 약

지진, 태풍, 쓰나미 등의 환경재해에 대한 피해 뉴스가 빈발하게 보도되고 있다. 이러한 자연재해로부터 구조물의 건전성이 위협받는 상황에서 이를 최대한 빠르게 확인하여 정확한 경보를 하는 것만이 인명 및 재산의 피해를 최소화할 수 있는 방법이다. 본 연구에서는 경보시스템의 오경보를 줄이고 정확성을 높이고자 전문가 시스템을 설계하였다. 전문가 시스템은 인접해 있는 다수의 센서를 하나의 그룹으로 바라보고 단일 센서가 아닌 인접한 센서의 상태를 함께 비교함으로써 모니터링 시스템의 신뢰도 높이는 데 초점을 두고 있다. 시설물 유지 관리자에게 건전성 유무를 판단할 정확한 자료를 제공하는 것은 조기대응으로 인한 현재의 피해를 최소화할 수 있으며, 추후 발생할 수 있는 추가적인 피해를 예방할 수 있는 장점이 있다.

▶ Keywords : 전문가시스템, 경보시스템, 센서 기반 구조물 건전성 모니터링

#### Abstract

These days news about natural disaster caused by earthquake, typhoon is broadcasted frequently. At this moment, structure's healthy is threatened by natural disaster, only way to minimize the casualties and property damage is doing accurate alert. In this research, I designed Expert system to reduce wrong-alert and elevate the accuracy. The expert system put many sensors close to each other as a one group. We focus on elevating reliability of monitoring system by comparing each nearby sensor's state not one single sensor. Providing accurate data which can decide safe to structure manager can minimize current damage by early response, also has advantage that can prevent additional damage can be occur in the future.

▶ Keywords : Expert System, Alert system, Sensor based, Structural health monitoring

• 제1저자 : 주승환 • 교신저자 : 서회석

• 투고일 : 2012. 01. 26. • 심사일 : 2012. 04. 28. • 게재확정일 : 2012. 08. 14.

\* 한국기술교육대학교 컴퓨터공학과(Dept. of Computer Science Engineering, Korea University of Technology and Education)

## I. 서론

1970년대부터 급속한 경제발전과 더불어 약 30여 년간 국내의 산업 기술 기반이 조성되면서 생활환경 개선을 위한 사회 간접자본에 대한 투자 규모가 빠르게 확대 되어 왔고 이에 따라 대형건설공사가 급속히 증가하여 왔다.

현재에는 사회 기반시설 조성을 위한 대형 구조물의 계획과 시공보다는 이미 시공된 시설물의 유지관리에 초점이 맞춰지고 있으며, 이들 시설물에 대한 안전성 문제가 점차 대두되고 있다[1].

특히 1990년대에 발생한 다양한 대형 구조물 붕괴 사고가 발생함에 따라 안전에 대한 국민들의 관심이 급격히 증가하였으며 건설 구조물의 안전을 위한 유지관리와 기술 개발연구[2]에 대한 요구가 증대되었다.

현재, 건설 구조물의 노후화로 인한 유지관리 및 안전관리에 대한 필요성이 대두되고 있으며 인력을 통한 구조물의 안전성을 확인하는 시스템에서 전자, 통신, 센서 등의 IT분야와의 융합을 통한 상시 원격 감시 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

국가주요기반 시설물의 안전사고를 예방하기 위한 안전감시, 평가 및 제어관리기술은 시장성보다는 공공의 이익을 고려해야 하는 성격이 강하므로 국가적인 차원에서 국민의 생명 보호와 생활의 안정성 확보를 통한 국가경쟁력을 높이는데 기여하는 바가 크며, 원활하고 신속한 신호체계를 갖춘 안전관리 네트워크를 구성함으로써 저비용으로 고효율의 이익을 창출하게 될 것이다.

따라서 이러한 사회기반 시설물을 모니터링하여 재해로부터 안전하게 유지관리함으로써 국내 건설 분야의 신뢰 회복은 물론이고, 나아가 세계적 건설 산업 분야의 공학 기술을 선도해 나갈 핵심기술을 보유할 수 있을 것이다.

지금까지는 경보를 빨리 전달하는 방법에 대해 연구가 진행되었고[3], 나아가 센서 기반의 경보 시스템에서 센서 계측값의 신뢰도를 높이기 위한 연구가 진행되고 있다.

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network) 기술은 센서 노드의 배치가 용이하고, 시스템 유지 및 관리 비용이 적게 들기 때문에 다양한 응용 서비스에서 활용될 수 있다[4].

센서기반의 경보 시스템은 센서로부터 수신한 계측값에 의해서 판단되어 있으며, 이는 개별 센서에 대한 신뢰성에 바탕을 두고 있다. 하지만 각 센서의 상태 및 환경에 따라서 수신된 계측값의 신뢰성에는 한계가 있다. 안전성을 증명하는데 있어 각각 노드의 계측값에 의존하게 되면 센서의 오탐

지를 만큼의 오류 경보의 확률을 갖게 된다. 센서의 오탐지율은 무시할 수 없으며, 오류 경보의 확률을 낮추는 것을 목적으로 경보 시스템에 전문가 시스템을 도입하였다. 본 논문에서의 전문가 시스템은 센서에서 수신된 계측값에 의존하지 않고 주변에 위치한 센서의 계측값을 확인하고 상호 비교하여 구조물의 안전성을 판단한다. 이를 통하여 각 센서의 계측값의 신뢰성을 향상 시키고자 한다.

## II. 관련 연구

### 1. 관련연구

#### 1.1 경보 시스템

일본은 일찍부터 방재관리에 있어 정보시스템을 도입하여 운영함으로써 재난 발생예측과 재난 발생시 신속하고 적절한 대응을 지원하고 있으며 중앙정부 차원에서는 재해 지정행정기관별로 정보시스템을 구축, 운영하고 있다[5].

특히 IT활용 지역 방재력 향상을 위해 고령화 관련 방재 연구와 전략이 다양하게 추진되고 있다. 또한 일본은 현재 타 국가 대비 방재분야의 사업을 활발히 추진하는 국가 중 하나로서, 방재도시 마을 만들기의 명목 하에 여러 자치단체가 전략적으로 준비 중에 있다. 이와 관련하여 지리적, 기상적 자연조건으로부터 재해대책기본법 등 관련법을 제정하고, 자주적 방재 및 복구 연계체계의 종합 재난관리계획을 수립하고 있다.

국내에서 서울시는 대형 재난 발생 시 현장지휘 및 정보전달 체계 혼신, 재난관련 기관별 정보공유 부재, 종합관리대응 곤란 등 다양한 문제점을 해결하기 위해 서울시 자체적으로 서울종합방재센터 정보시스템을 구축하여 운영하고 있다.

또한 부산시는 u-City 관련 사업을 추진하는 도시로써, 2006년부터 본격적으로 u-City 사업을 시작했다. 그 가운데 첨단 u-IT 기술을 이용하여 시민의 안전욕구를 충족시키고 자발적인 안전망을 구축하기 위하여 방재분야를 강조하여 추진하였다. 2007년 2월 부산 u-방재 도시모델 전략수립 및 설계를 착수하여 8월에 전체도시규모로는 처음으로 유비쿼터스 센서 네트워크 기술을 이용한 방재 도시 건설을 위한 전략수립을 하였다.

현재 구조물의 안전 감시는 주로 센서를 이용한 경보 시스템이 많다. 센서는 단가가 싸고 크기가 작다는 이점을 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 센서 기반 경보 시스템의 효과를 극대화하기 위한 전문가 시스템을 설계하고 실험을 통해 그 성능을 확인하였다.

### 1.2 전문가 시스템

전문가시스템(Expert System)[6]은 어떤 특정한 작업을 행할 시, 그 작업에 아주 익숙해 있는 전문가(Expert)를 대신하여 컴퓨터가 자동적으로 일을 수행할 수 있도록 학습, 문제 해결 및 추론 등의 능력을 갖고 있는 컴퓨터 프로그램이다. 다시 말해 컴퓨터로 하여금 인간 전문가의 지적인 능력을 대행시키는 시스템으로 그림 1과 같은 시스템 구조를 갖는다.

Rule을 기반으로 전문가가 가지고 있는 지식과 경험들을 컴퓨터 시스템에 입력시켜 지식베이스로 축적하고 사용자의 요구에 의해 추론엔진(Inference Engine)이 지식베이스를 이용하여 추론(7)을 하고 그 결과를 사용자에게 전해주는 방식으로 작동한다.

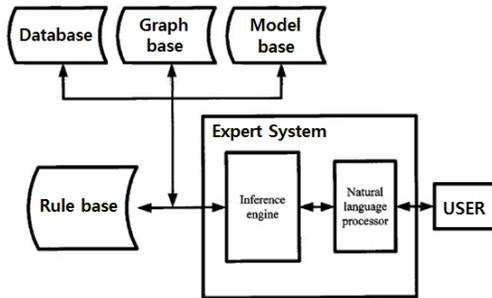


그림 1. 전문가 시스템의 구조  
Fig. 1. Architecture of Expert System

이는 여러 영역의 전문가의 경험과 지식을 체계적으로 컴퓨터에 입력시켜 줌으로써 비전문가들이 전문가를 직접 만나지 않고도 전문가의 지식을 이용할 수 있다.[8]

본 연구에서는 경보 발생 상황 시의 전문가 시스템을 도입하여 센서의 오류 발생 상황에도 정확한 경보를 내릴 수 있도록 하였다. 센서 네트워크에서 각각의 센서 사이에 연관성을 찾아 센서가 독립적이지 않고 관계를 갖고 있음을 이용하여 전문가 시스템을 도입하였다.

### III. 전문가 시스템 설계

#### 1. 경보 시스템의 규칙

구조물과 각 센서는 safe, abnormal, serious, critical threat로 상태 전이가 이루어지며 단계가 상승할수록 구조물 및 센서의 상태가 위험하다는 것을 의미한다.

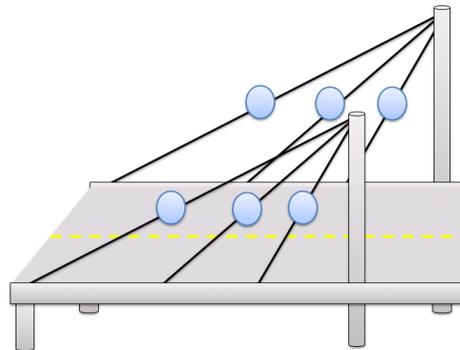


그림 2. 구조물과 센서 구성의 예  
Fig. 2. Example that constitute structure and sensors

경보시스템은 구조물에 설치된 각 센서의 상태를 지속적으로 수신한다. 전문가시스템은 수신된 센서 정보 중 "safe"가 아닌 센서를 발견할 경우 센서의 오류로 인한 오보 인지 판단하기 위해 인접한 센서의 값을 참조하게 된다.

그림 2와 같이 구조물에 센서가 배치되어 있다. 각 센서는 계측한 값을 토대로 구조물의 상태를 통보한다. 구조물의 센서 계측 값을 통해 구조물 상태를 인접 센서와 마주한 센서로 구분된다.

이 센서들로부터 구조물의 상태를 수신하여 전문가 시스템을 통해 구조물의 상태를 판단한다.

<b>- RULE1 : 여섯 개의 센서의 계측 상태가 모두 같을 경우</b>
계측 상태에 오류가 없음으로 판단

센서들의 계측상태가 모두 같을 경우 해당 센서들의 계측 상태에 문제가 없음으로 판단하고 센서들이 계측한 상태로 구조물 상태를 경보한다.

다음은 6개의 센서 중 이웃한 두 센서의 계측 상태가 같은 경우의 전문가 시스템이다. 다른 센서들 중 계측 상태가 가장 높은 센서와 비교하게 된다.

<b>- RULE2 : 이웃한 두 센서의 상태가 safe로 같을 경우</b>
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Abnormal 이면, 구조물의 상태를 Abnormal 로 경보
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Serious 이면, 과잉 계측으로 판단, 구조물의 상태를 Abnormal 로 경보
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Critical 이면, 과잉 계측으로 판단, 구조물의 상태를 Serious 로 경보

<b>- RULE3 : 이웃한 두 센서의 상태가 Abnormal 로 같을 경우</b>
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Serious 이면, 구조물의 상태를 Abnormal 로 경보
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Critical 이면, 과잉 계측으로 판단, 구조물의 상태를 Serious 로 경보

<b>- RULE4 : 이웃한 두 센서의 상태가 Serious 로 같을 경우</b>
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Abnormal 이면, 구조물의 상태를 Serious 로 경보
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Critical 이면, 구조물의 상태를 Critical 로 경보

<b>- RULE5 : 이웃한 두 센서의 상태가 Critical 로 같을 경우</b>
구조물의 상태를 Critical 로 경보

다음은 6개의 센서 중 마주한 두 센서의 계측 상태가 같은 경우의 전문가 시스템 규칙이다. 다른 센서들 중 계측 상태가 가장 높은 센서와 비교하게 된다.

<b>- RULE6 : 마주한 두 센서의 상태가 safe로 같을 경우</b>
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Abnormal 이면, 구조물의 상태를 Abnormal 로 경보
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Serious 이면, 과잉 계측으로 판단, 구조물의 상태를 Abnormal 로 경보
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Critical 이면, 과잉 계측으로 판단, 구조물의 상태를 Serious 로 경보

<b>- RULE7 : 마주한 두 센서의 상태가 Abnormal 로 같을 경우</b>
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Serious 이면, 구조물의 상태를 Abnormal 로 경보
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Critical 이면, 과잉 계측으로 판단, 구조물의 상태를 Serious 로 경보

<b>- RULE8 : 마주한 두 센서의 상태가 Serious 로 같을 경우</b>
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Safe 이면, 구조물의 상태를 Abnormal 로 경보
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Abnormal 이면, 구조물의 상태를 Serious 로 경보
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Critical 이면, 구조물의 상태를 Critical 로 경보

<b>- RULE9 : 마주한 두 센서의 상태가 Critical 로 같을 경우</b>
구조물의 상태를 Critical 로 경보

다음은 6개의 센서 중 인접하지 않은 2개의 센서가 같은 계측 상태를 갖는 경우의 전문가 시스템 규칙이다. 규칙1부터 규칙9까지의 조건에 해당사항이 없는 경우에 실행된다.

<b>- RULE10 : 인접하지 않은 2개의 센서가 Abnormal 인 경우</b>
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Safe 이면, 구조물의 상태를 Abnormal 로 경보
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Serious 이면, 구조물의 상태를 Serious 로 경보
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Critical 이면, 구조물의 상태를 Critical 로 경보

<b>- RULE11 : 인접하지 않은 2개의 센서가 Serious 인 경우</b>
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Abnormal 이면, 구조물의 상태를 Serious 로 경보
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Critical 이면, 구조물의 상태를 Critical 로 경보

<b>- RULE12 : 인접하지 않은 2개의 센서가 Critical 인 경우</b>
다른 하나의 센서의 계측 상태가 safe 이면, 구조물의 상태를 Serious 로 경보
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Abnormal 이면, 구조물의 상태를 Serious 로 경보
다른 하나의 센서의 계측 상태가 Serious 이면, 구조물의 상태를 Critical 로 경보

인접하지 않은 3개의 센서가 같은 상태 계측을 하고 다른 센서들 중에서 더 높은 위험 상태 계측이 없으면 3개의 센서가 계측한 상태를 구조물의 상태로 판단한다.

<b>- RULE13 : 인접하지 않은 3개의 계측 상태가 모두 같을 경우</b>
그 외 센서에서 높은 상태가 계측 되지 않았다면, 3개 센서의 계측 상태를 구조물의 상태로 판단

2. 전문가 시스템 규칙의 예

아래 전문가 시스템 규칙의 예에서는 마주하는 두 센서를 하나의 그룹으로 묶어 3개 그룹의 센서 계측 현황을 표시한다.

표 1. Safe 상태를 갖는 전문가 시스템 규칙의 예  
Table 1. Example of expert system rule for Safe state

	S1_1	S1_2	S2_1	S2_2	S3_1	S3_2
Safe	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Abnormal						
Serious						
Critical						
State	Safe					

모든 센서의 계측 상태가 같은 경우는 센서의 계측 상태를 구조물의 상태로 판단한다.

표 2. Abnormal 상태를 갖는 전문가 시스템 규칙의 예  
Table 2. Example of expert system rule for Abnormal

	S1_1	S1_2	S2_1	S2_2	S3_1	S3_2
Safe	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Abnormal	✓	✓	✓	✓		✓
Serious				✓		
Critical						
State	Abnormal					

표 2는 이웃한 센서와 마주한 센서의 계측 상태가 Abnormal 상태이고, 그 외 다른 하나의 센서가 Serious 상태를 계측한 경우이다. Serious 상태를 계측한 S2\_2가 센서 오류로 과잉계측했으므로 판단하여 Abnormal 상태로 경보한다.

표 3. Critical 상태를 갖는 전문가 시스템 규칙의 예  
Table 3. Example of expert system rule for Critical

	S1_1	S1_2	S2_1	S2_2	S3_1	S3_2
Safe	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Abnormal	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Serious		✓	✓		✓	
Critical		✓				
State	Critical					

표 3과 같은 센서 계측의 경우에는 S2\_1과 S3\_1으로 이웃한 센서의 계측 상태가 Serious 로 같고, 하나의 센서가 Critical 상태를 계측하였다. 이 경우에는 Serious 상태를 계측한 센서들 주변에서 Critical 상태가 계측되었기 때문에 상태의 심각성을 낙관할 수 없는 상태이다. 그렇기 때문에 구조물의 상태를 최고 계측 상태인 Critical 상태로 판단하고 경보한다.

표 4. Serious 상태를 갖는 전문가 시스템 규칙의 예  
Table 4. Example of expert system rule for Serious

	S1_1	S1_2	S2_1	S2_2	S3_1	S3_2
Safe	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Abnormal	✓		✓	✓	✓	
Serious	✓			✓	✓	
Critical						
State	Serious					

표 5에서는 이웃한 두 센서가 Serious 상태를 계측하였으며, 주변 센서들의 상태를 확인하여 센서의 오작동 의심 여부를 확인한다. Serious 상태를 계측한 주변 노드들의 계측 상태가 Abnormal 상태이기 때문에 두 센서가 계측한 Serious 상태는 신뢰할만하다. 센서의 계측상태를 신뢰하고 구조물의 상태를 Serious 로 판단하고 경보한다.

표 5. Serious 상태를 갖는 전문가 시스템 규칙의 예  
Table 5. Example of expert system rule for Serious

	S1_1	S1_2	S2_1	S2_2	S3_1	S3_2
Safe	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Abnormal		✓	✓	✓	✓	✓
Serious			✓		✓	
Critical						
State	Serious					

표 6. Serious 상태를 갖는 전문가 시스템 규칙의 예  
Table 6. Example of expert system rule for Serious

	S1_1	S1_2	S2_1	S2_2	S3_1	S3_2
Safe	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Abnormal	✓	✓	✓		✓	✓
Serious						
Critical						
State	Serious					

표 6에서는 5개의 센서가 Abnormal 상태를 계측하고 하나의 센서가 Safe 상태를 계측한 상황이다. 이러한 상황에서는 센서 S2\_2가 센서 오류로 계측 값이 부족하다고 판단하여 나머지 센서들의 계측 상태를 구조물의 상태로 판단한다.

#### IV. 전문가 시스템 성능

전문가 시스템의 성능을 평가하기 위해서 비교대상이 되는 일반적인 시스템의 구조물 상태 판단 기준은 계측한 센서들 중 상태 중 가장 위급한 상태에 있는 센서의 상태를 구조물의 현재 상태로 판단하게 된다.

예를 들어 센서 4개로 받은 상태가 각각 Safe, Safe, Safe, Critical 일 때, 일반적인 시스템의 경우 구조물의 상태를 Critical로 판단하게 되고 같은 센서 값을 수진 받은 전문가 시스템의 경우 구조물의 상태를 Abnormal로 판단하게 된다.

두 시스템을 비교하기 위해 아래 표와 같은 상태 분포를 가지는 6개의 센서를 이용하여 1,000,000번씩 4번의 시뮬레이션을 수행하였다.

표 7. 구조물 상태 분포  
Table 7. Distribution of structural states

State	Percentage
Safe	80%
Abnormal	10%
Serious	7%
Critical	3%

시뮬레이션을 수행한 결과 그림과 같이 전문가 시스템의 경우 센서가 가질 수 있는 상태들의 비율과 비슷한 비율로 구조물의 상태를 판단하였지만, 일반적인 시스템의 경우 전문가 시스템이 Safe로 판단하는 횟수 보다 낮게 판단했으며,

Abnormal, Serious, Critical의 경우에는 전문가 시스템 보다 더 많이 횟수로 판단하였다.

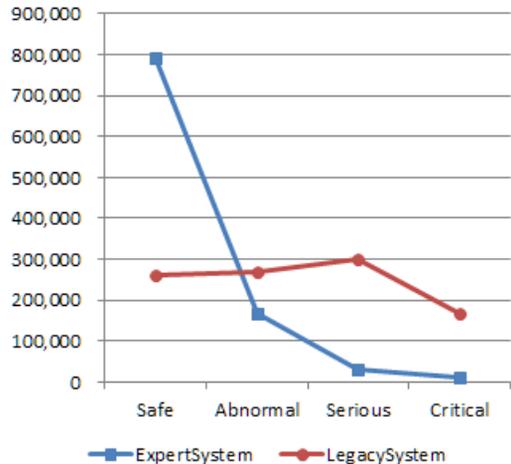


그림 5. 성능평가 수행 결과  
Fig. 5. System Architecture

일반적인 시스템이 이러한 분포를 보이는 이유는 단일 센서의 상태에 초점을 두고 구조물의 상태를 판단하는데 있기 때문으로 분석된다. 전문가시스템의 수행횟수에 따른 구조물 상태를 판단에 대한 신뢰성을 확인하기 위하여 1회 시뮬레이션을 수행할 때 수행하는 실행 횟수를 달리하여 이에 따른 값의 분포 정도를 확인해 보았다.

아래 그래프는 신뢰성에 대한 검증을 위하여 1회 수행 하는 시뮬레이션 횟수를 각각 1,000, 1,000,000, 1,000,000,000 번씩 10회 반복하여 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 전문가 시스템의 신뢰성 검증에 대한 시뮬레이션 결과 시뮬레이션을 수행하는 횟수에 상관없이 구조물을 판단하는데 있어 각 상태에 대한 일정한 비율로 판단한다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 센서로부터 수집되는 데이터 량이 상대적으로 적은 시스템 초기 구축단계에서도 구조물의 상태를 판단하는데 있어 신뢰성 있는 정보를 제공한다는 것을 의미한다.

전문가 시스템이 일반적인 시스템과 달리 구조물의 상태를 판단할 때, 단일 센서가 아닌 인접한 센서들의 상태를 충분히 반영하여 구조물의 상태를 판단하기 때문에 센서가 가질 수 있는 상태의 비율 즉, 구조물의 상태가 변할 수 있는 비율에 근접하여 구조물의 상태를 판단 것을 알 수 있다.

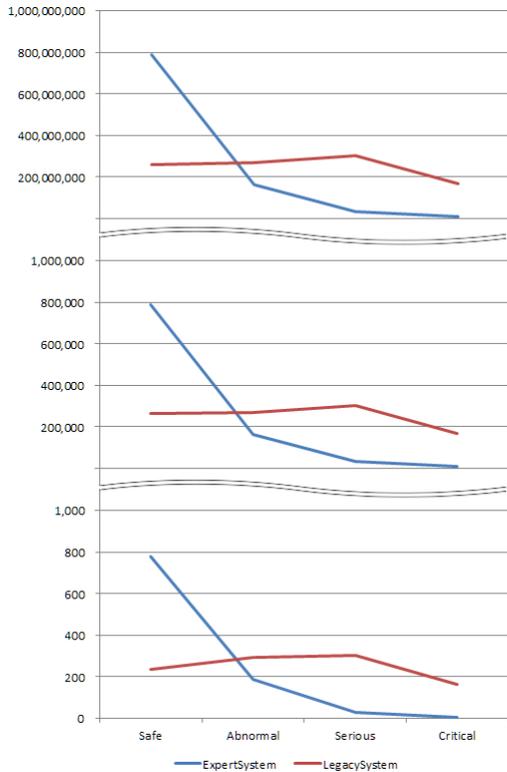


그림 6. 평가 횟수에 따른 결과 비교  
Fig. 6. Compared to result according to number of experiments

즉, 구조물의 상태에 대한 신뢰성 높은 정보를 제공한다고 볼 수 있을 것이다. 아래 그림은 전문가 시스템과 일반적인 시스템이 구조물을 판단하는 비율을 나타내고 있다.

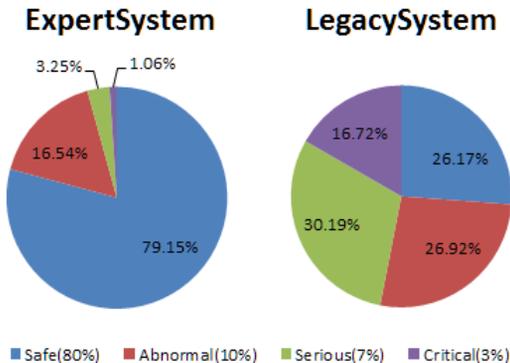


그림 7. 성능평가 수행 결과  
Fig. 7. Result of performance test

위의 그래프에서 일반적인 시스템이 구조물의 상태를 판단 할 때 Safe가 아닌 상황이 73%를 차지하고 있다.

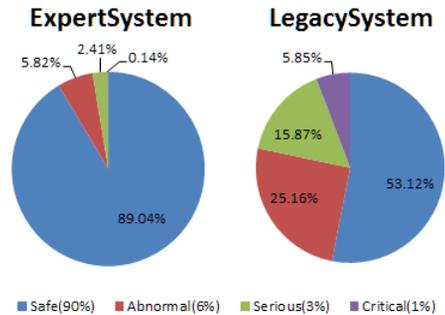


그림 8. 성능평가 수행 결과  
Fig. 8. Result of performance test

위 그래프는 센서로부터 수신 받은 상태의 분포가 Safe일 경우가 90%, Abnormal 6%, Serious 3%, Critical 1%일 경우의 전문가 시스템과 일반적인 시스템이 구조물의 상태를 판단하는 비율을 나타내는 그래프이다.

위 그래프에서 확인 할 수 있듯이 센서로부터 수신 받은 데이터 중 Safe인 경우가 90%이지만 일반적인 시스템이 판단하는 구조물의 상태가 Safe일 경우가 그에 훨씬 못 미치는 53%이다. 반면 전문가 시스템의 경우 89%로 센서로부터 수신 받은 값의 분포에 근접하게 나타났다.

센서가 가질 수 있는 Safe 상태를 높여서 시뮬레이션 해보았다. Safe일 경우는 94%, Abnormal 3%, Serious 2%, Critical 1%로 설정하였다.

시뮬레이션 결과 일반적인 시스템이 구조물의 상태를 Safe상태로 판단한 확률이 증가 하였지만, 전문가 시스템에 이 구조물의 상태를 Safe상태로 판단하는 비율보다 낮은 결과를 얻을 수 있었다.

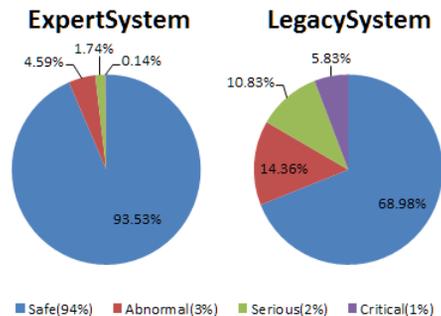


그림 9. 성능평가 수행 결과  
Fig. 9. Result of performance test

다음 그래프는 센서가 가질 수 있는 상태들을 변경 시키면서 시뮬레이션 한 결과를 전문가시스템과 일반적인 시스템이 판단한 구조물의 상태 별로 나누어 정리한 것이다.

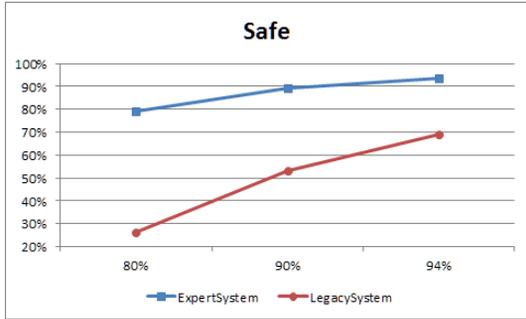


그림 10. 구조물 상태 분포 별 Safe 현황  
Fig. 10. Safe status by the distribution of structural states

전문가 시스템과 일반적인 시스템이 Safe상태로 판단하는 비율에 확연히 차이가 났다. 센서가 Safe를 가질 수 있는 비율이 높아지면서 일반적인 시스템이 구조물의 상태를 Safe로 판단하는 비율은 높아 졌지만 전문가시스템에 비해서 80% 상태에서 50%가량 낮은 수치이다.

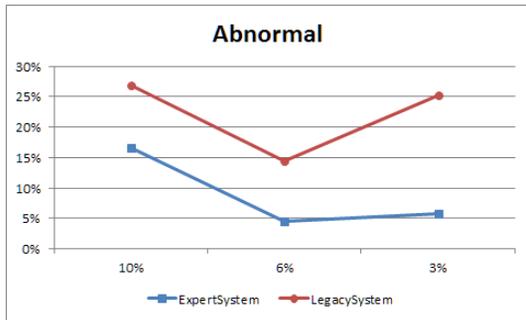


그림 11. 구조물 상태 분포 별 Abnormal 현황  
Fig. 11. Abnormal status by the distribution of structural states

센서가 Abnormal값을 가질 수 있는 경우가 1/3로 줄어들었지만 일반적인 시스템이 구조물의 상태를 Abnormal상태로 판단할 비율은 크게 변하지 않았다. 전문가 시스템의 경우에는 16%에서 6%이하로 줄어들어 일반적인 시스템 보다 나은 성능을 보였다.

Serious, Critical의 경우에도 전문가 시스템이 일반적인 시스템에 비해 감소폭이 적지만, 절대적인 수치는 전문가 시

스템이 훨씬 낮다. 또한 센서가 Critical인 상태를 가질 비율이 1%낮아지면서 전문가 시스템이 구조물의 상태를 Critical로 판단할 경우가 0%에 근접하게 낮아졌다.

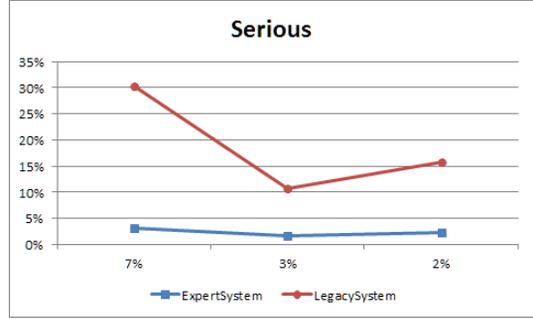


그림 12. 구조물 상태 분포 별 Serious 현황  
Fig. 12. Serious status by the distribution of structural states

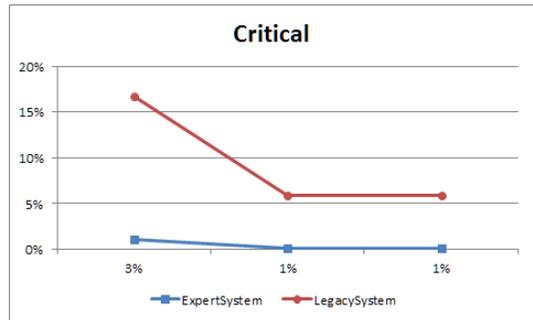


그림 13. 구조물 상태 분포 별 Critical 현황  
Fig. 13. Critical status by the distribution of structural states

## V. 결론

도시를 구성하는 구조물의 재해 및 재난을 예방하고, 공공의 안전 확보 및 국민의 복리증진을 위해 구조물의 점검 및 적정한 유지관리는 구조물의 효용 증진 뿐만 아니라 시대적 요구사항이다. 이러한 상황에 센서네트워크 기반에서 경보의 정확성을 높이기 위해 본 연구가 진행되었다.

일반적인 시스템은 단일 센서의 상태에 중심을 두고 전체 구조물의 상태를 판단하므로 구조물이 안전한 상태일 때에도 안전하지 않다고 판단하여 모니터링 시스템의 낮은 신뢰도를 제공한다.

이러한 낮은 신뢰도를 높이기 위해서 전문가 시스템은 인접해 있는 다수의 센서를 하나의 그룹으로 바라보고 단일 센

서가 아닌 인접한 센서의 상태를 함께 비교함으로써 모니터링 시스템의 신뢰도 높이는 데 초점을 두고 있다.

전문가 시스템을 시뮬레이션 한 결과 전문가 시스템이 판단하는 구조물의 상태는 센서가 가질 수 있는 상태의 변화 즉, 구조물의 상태 변화 비율과 유사한 비율로 구조물의 상태를 판단한다. 즉 구조물의 전체적인 안전성을 판단 할 수 있는 정보를 제공해 준다.

전문가 시스템은 구조물을 모니터링 하는데 신뢰도 높은 정보를 제공한다. 따라서 다른 구조물 안전성 평가 방법들과 함께 사용된다면 더욱 높은 신뢰도의 정보를 토대로 구조물을 관리 할 수 있을 것이다.

### 감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2010- 0021951).

### 참고문헌

[1] Ki-Soo Kim, "Smart Monitoring of Civil Infrastructures using Fiber Optic Sensors", Korean Society of Civil Engineers, 55(4) pp. 81-91, 2007.

[2] Seung Hwan Ju, Hee Suk Seo, Seung Hwan Lee, Min Soo Kim, "Integrated Health Monitoring System for Infra-Structure", The Korea Society for Simultaion, Journal of The Korea Society for Simultaion, Vol 19, 2010.

[3] D Balageas, CP Fritzen, "Structural health monitoring", Wiley, 2010.

[4] J.E. Kim, S.H. Kim, W.C. Jeong, N.S. Kim, "Technical Trend of USN Sensor Node", Trend analysis of electronic communications, Vol 22, 2007.

[5] M. Picozzi, S. Parolai, M. Mucciarelli, C. Milkereit, D. Bindi, R. Ditommaso, M. Vona, M.R. Gallipoli, and J. Zschau (2011). Interferometric Analysis of Strong Ground Motion for Structural Health Monitoring: The Example of the L'Aquila, Italy, Seismic Sequence of 2009. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 101, No. 2, pp. 635-651, April 2011.

[6] Giarratano, Joseph C. and Riley, Gary, "Expert Systems, Principles and Programming". Course Technology Ptr. Gary Riley, 2005.

[7] Laudon, Kenneth C, Jane P. "Management Information Systems 12/E: Managing the Digital Firm", Pearson Education Asia, 2010.

[8] Seo, Hee Suk and Cho, Tae Ho, "Simulation of Network Security with Collaboration among IDS Models," Lecture Notes on Artificial Intelligence, Springer Verlag, LNAI 2256, 2001

### 저 자 소 개



#### 주 승 환

2009 : 한국기술교육대학교  
인터넷미디어공학부  
정보보호공학과 공학사  
2011 : 한국기술교육대학교대학원  
컴퓨터공학과 석사  
현 재 : 한국기술교육대학교대학원  
컴퓨터공학과 박사 과정  
관심분야 : 모바일 보안,  
모바일 악성코드,  
사용자 인증, 네트워크 보안  
Email : judeng@koreatech.ac.kr



#### 서 희 석

2000 : 성균관대학교 산업공학과 공학사  
2002 : 성균관대학교대학원 전기전자  
및 컴퓨터공학과 석사  
2005 : 성균관대학교대학원 전기전자  
및 컴퓨터공학과 박사  
현 재 : 한국기술교육대학교  
컴퓨터공학부 부교수  
관심분야 : 모델링&시뮬레이션,  
네트워크보안,  
보안 시뮬레이션, USN  
Email : histone@koreatech.ac.kr

