

해상초장대교량의 지진재난 방재시스템개발

장준호* · 윤정현** · 이윤미***†

* 계명대학교 토목공학과, ** 스펙엔지니어링, *** 계명대학교 토목공학과 석사

The Development of Earthquake Disaster Prevention System in Long Span Bridge

Chun-Ho Chang · Jeong-Hyeon Yun** · Yun-Me Lee***†

*, *** Division of Civil Engineering, Keimyung University, Daegu, 704-701, Korea

** SPEC Engineering, Seoul, 137-131, Korea

요 약 : 본 연구의 목적은 지진발생 시 발생할 수 있는 초장대교량의 관리기준을 기반으로 하여 비상대응절차를 정의하고, 지진의 레벨(Level)별 비상대응 알고리즘을 개발하여 구조물의 센서와 연동하는 교량재난관리시스템인 BDMS(Bridge Disaster Management System) 개발이다. 지금까지의 초장대교량의 지진에 대한 방재시스템은 매뉴얼(Manual) 중심의 방식이며 폐쇄적인 시스템을 활용하였으나 본 연구에서는 IT 기술을 접목하고 인터넷 기반의 개방적 시스템을 활용하여 보다 실용적인 시스템으로 개발하였다. 또한 교량관리자별로 업무를 할당하고 그 절차마다 수행해야할 임무를 AAD(Activity Action Diagram)을 통하여 명확하게 규정하였다. 3D 상황판 기능을 제공하여 지진재난 뿐 아니라 다른 자연재난의 중복 발생 시에도 적절한 초기 대응이 가능하도록 설계하였다. 시나리오를 기반으로 비상대응 주체별로 행동요령을 정의 하고 비상대응절차를 구축하여 이를 시스템화한 BDMS를 개발 활용한다면 기존의 경험적, 매뉴얼 중심의 대처방식에서 신속성, 효율성을 가진 지진재난 방재시스템을 갖게 될 것이다.

핵심어 : 비상대응 시나리오, 지진, 상황전파, 비상대응 절차, 초장대교량

Abstract : The purpose of this study is to define emergency response procedures by BDMS [Building Disaster Management System] when earthquake occurs on long-span bridge structures. The study is about developing a computer-based algorithm for various earthquake intensities that works with the System. Presently, long-span bridge disaster prevention relies on closed-system centered on human intervention alone. However, this study combines IT technology and internet-based open system creating a more practical system. Additionally, assigned duties and tasks are clearly defined to all personnel involved in various disaster situations using the Active Action Diagram(AAD) techniques. Also, the design of 3-dimensional view assists to determine the appropriate initial response in times of earthquake and other disasters. The combination of the existing manual emergency response procedures and the scenario-based (IT) response system being developed will create an efficiency and fast response actions in times of emergencies.

Key Words : Emergency response scenario, Earthquake, Situation notice, Emergency response process, Long Span Bridge

1. 서론

최근 자연재해의 지속적인 증가와 함께 인구의 고밀도화, 사회간접자본사업의 대형화 등으로 재해의 위험성은 날로 커지고 있다. 자연재해 중에서도 지진은 다른 재해와는 달리 발생예측이 힘들고, 일단 발생하게 되면 매우 짧은 시간 내에 기간시설을 비롯한 모든 시설물과 인명의 피해가 커서, 다른 재해 중에서도 위험도가 높은 특징을 갖고 있다. 더욱이 최근 발생된 지

진의 패턴을 분석하여 보면 판 경계 뿐 아니라 중국의 쓰촨성(Sichuan)지진의 경우처럼 판 내부에서도 진도가 큰 지진이 발생하는 등 기존의 지진위험지역을 벗어나 우리나라의 지진의 피해 가능성은 높아져만 가고 있다(통계청, 2011). 그 중에서도 해양에 건설된 초장대교량은 바다를 가로질러 육지와 육지 또는 섬을 연결하는 단순한 도로의 역할 뿐 아니라 사회, 문화, 지역 발전 등 중추적인 역할을 담당하고 있다. 이러한 초장대교량은 사회전반에 걸쳐 중요성이 크지만 지진발생에 대한 비상대응절차 등은 외국 선진국에 비해 구체적인 체계를 갖추고 있지 못하여 잠재적 대형사고의 위험이 노출되어 있는 실정이다

* 대표저자 : 정희원, changclint@gmail.com, 053-580-5299

† 교신저자 : 정희원, yunmi86@gmail.com, 053-580-6452

(Sunaryo, 2001).

본 논문에서는 지진이 발생하면 다수의 인명피해와 재산손실이 큰 해상의 초장대 교량을 대상으로 하였다. 또한 해상의 초장대 교량은 지진피해 발생 시 해상으로 부터 접근의 제한성으로 인해 인명구조 활동, 소방 활동 등 초기사고 수습에도 많은 어려움이 발생한다. 현실적으로 관련 정보의 복잡성, 초장대교량의 구간이 매우 길어 사고 초기 상황 파악으로부터 피해발생 후의 다양한 상황을 효율적으로 대응하기가 매우 어렵다(공, 2009). 따라서 이러한 특수한 상황을 극복 할 수 있는 각 상황을 고려한 비상대응절차를 개발하는 것이 무엇보다도 중요하며, 이를 시스템화 하여 짧은 기간 내에 효율적인 대처가 가능하도록 해야 한다(Eguchi, 1997). 따라서 본 연구에서는 모든 발생 가능한 지진피해 시나리오를 기반으로 비상대응 주체별로 행동요령을 정의 하여 비상대응절차를 구축하였다. 또한 이를 시스템화한 BDMS(Building Disaster Manage System)을 개발하여 재난 시 해양에 건설된 초장대교량의 현지 사이트 활용성 증대 및 비상대응 대처 효율성을 향상시키고자 한다.

2. 초장대교량의 지진피해 특징

2.1 지진피해의 특성

초장대교량은 교량을 지나는 차량과 승차자의 안전뿐 아니라 국가적인 안보와 기능면에서도 매우 중요하고 신중하게 다루어져야 하는 분야이다. 특히 해상에 건설된 초장대교량인 경우 대부분 공간적 특성상 많아서 인명피해 가능성이 높고 안정성을 확보하기에 매우 취약한 구조로 이루어져 있다(이, 2008). 산업발전의 고도화 등에 힘입어 2000년 11월 준공한 서해대교, 영종대교, 2003년 6월 광안대교 최근 2010년 10월 인천대교까지 양적인 증가와 함께 그 규모도 나날이 확대되어져 가고 있다. 그러나 초장대교량의 양적 질적 발전과 함께 상대적으로 비상대응체계 시스템 구축은 선진국에 비해 아직 미흡하여 재해 발생 시 대형재난의 위험성이 크게 노출되어 있는 실정이다(건설기술연구원, 2010).

지난 2010년 2월 27일에 발생한 지진은 칠레(Chile) 제 2도시인 콘셉시온(Concepcion)의 북동쪽 115 km 해역에서 발생 한 것으로, 규모 8.8의 강진은 1960년 발디비아(Valdivia) 지진 이후 칠레의 가장 강력한 지진이었다(Huang, 2009). 이로 인해 태평양에 인접한 53개 국가에 쓰나미 경보가 발령되었으며 700명 이상의 사망자가 발생한 초대형 재난이었다. Photo 1과 같이 해상에 건설된 교량의 붕괴로 인해 교량을 지나던 차량의 파손은 물론 많은 인명피해를 유발시켰다(오, 2010). 지진은 짧은 시간에 매우 큰 지진파가 구조물에 가해져 비상대응 시스템이 준비되어 있지 않으면 위 사례처럼 국가적으로 큰 피해를 입을 수 밖에 없다는 것을 간접 경험하였다(정, 2011).



Photo 1. Bridge collapse in Chile.

2.2 국내 · 외 초장대교량의 지진에 대한 관리기준 현황

국내 초장대교량의 지진 관리기준은 영종대교, 광안대교서해대교에 구축되어 있으며 국내 지진에 대한 관리기준을 처음 수립한 영종대교는 Table 1과 같다. 영종대교는 교각에 설치된 3축 지진계로부터 지진가속도를 계측하여, 각 방향에서 발생된 최대지진가속도가 정해진 수준을 초과된 3분간의 모든 데이터가 저장되며, VMS(Variable Message Sign)를 통하여 교량이용자에게 전달된다. VMS는 가변표시장치로 교통정보를 제공하는 것이다(한국도로공사, 2008).

광안대교의 관리기준은 교량구조계산서와 FEM(Finite Element Method)해석 결과 및 장기계측 데이터 분석결과를 근거로 설정되었다. 서해대교의 관리기준은 영종대교와 같은 기준을 적용하고 있으며, 서해대교 경우 레벨 1단계의 지진가속도를 5~20 gal, 레벨 2단계의 경우에는 21~94 gal, 마지막으로 전면통제를 수행하는 레벨 3단계의 95 gal 이상의 가속도로 단계를 구분하여 놓았다. 이상의 경우에서 살펴본 바와 같이 우리나라의 대부분의 초장대교량은 관리기준을 3단계로 나누어 조치사항을 제시하였다(건설기술연구원, 2010).

Table 1. Management standard of Yeongjong bridge in Korea

Management standard	Measures	Remarks
Magnitude III (25~50 gal)	Drive attention	VMS
Magnitude IV (50~80 gal)	40 km/h Drive	VMS Emergency inspection
Magnitude V (More than 80 gal)	Drive Prohibition	VMS Emergency inspection

국의 관리기준은 지진 재해에 대한 시스템구축이 체계적으로 수립된 일본의 자료는 Table 2의 오오나루문교(Ohonharomon bridge)의 경우와 같이 3단계로 구분되어 있으며, 지진 시 교량상의 차량 운행규제에 대한 관리기준을 구축해 두었다(건설기술연구원, 2010).

Table 2. Management standards in Japan

Item	Ohohnaromon bridge		
	Drive attention	40 km/h Drive	Drive Prohibition
Earthquake	Magnitude III (25~50 gal)	Magnitude IV (50~80 gal)	Magnitude V (more than 80 gal)

3. 초장대교량의 비상대응절차 구축

3.1 초장대교량의 지진에 대한 관리기준 구축

현재 한국도로공사에서 제정한 지진에 대한 교통통제모듈은 위기경보체계의 관심, 주의, 경계, 심각 의 4단계로 구성되어 있다(강, 2011). 현재 건립된 초장대교량의 지진에 대한 관리기준은 유사하지만 각 교량마다 다른 관리기준을 두고 있어 범용적인 지진 비상대응시나리오 알고리즘을 개발하기 위하여 통합적인 관리기준 작성이 필요하다. 그래서 한국도로공사의 교통통제모듈 4단계 구조를 반영하여, 주탑 기초에 설치된 지진가속도계를 바탕으로 Table 3과 같이 레벨 4로 나누어 관리기준을 구축하였다(한국도로공사, 2008).

Table 3. Management standard of long span bridge

Division	Earthquake	Measures
Level 1	Over 15 gal ~ below 25 gal	Drive attention
Level 2	Over 25 gal ~ below 50 gal	30 % Deceleration
Level 3	Over 50 gal ~ below 80 gal	50 % Deceleration
Level 4	More than 80 gal	Drive Prohibition, Stops on the left

3.2 초장대교량의 지진에 대한 알고리즘 구축

규정된 관리기준에 의해 상황별로 알고리즘을 구축하였다. 레벨 1단계, 즉 지진가속도계가 1분당 지진가속도 값 중 15~25 gal인 경우 문안표출 조치하고 지진 계측기의 데이터 값을 지속적으로 확인함과 동시에 기상정보를 파악하여 상황종료를 판단한다(Fig. 1).

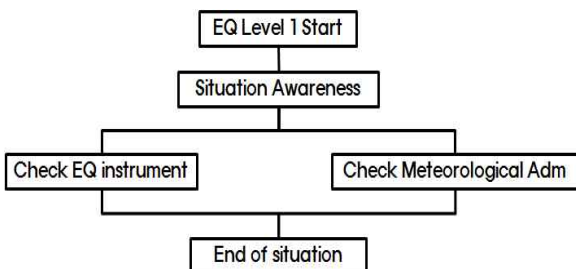


Fig. 1. Level 1 procedure.

레벨 2단계는 1분간 측정된 지진가속도가 25~50 gal 사이의 되는 경우 해당되며 액티비티(Activity)는 유관기관의 유선통보와 VMS 문안표출이 동시에 이루어진다(Fig. 2).

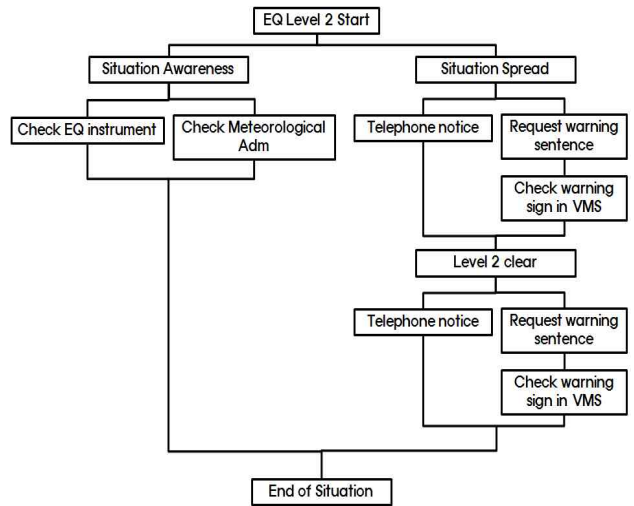


Fig. 2. Level 2 procedure.

레벨 3단계는 1분간 측정된 지진가속도가 50~80 gal인 경우로 노선순찰 액티비티가 추가되며 시설물 이상 발견 시 후속조치를 취할 수 있는 액티비티를 수행한다. 또한 지진현황보고를 통하여 지진의 특성과 상황 등을 파악하고 유선통보 시 보고형식으로 사용된다(Fig. 3).

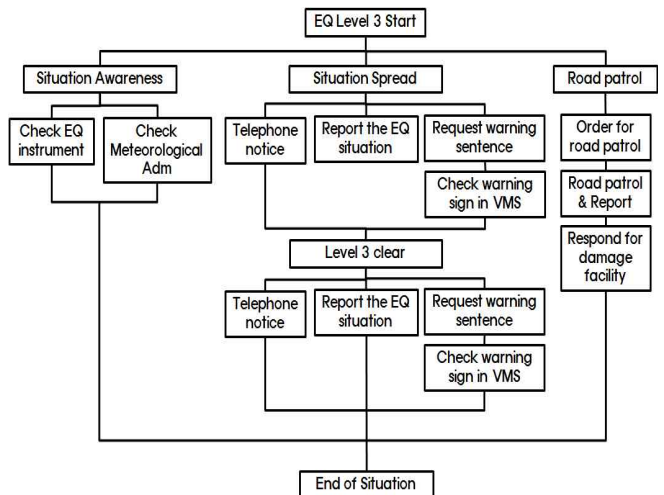


Fig. 3. Level 3 procedure.

레벨 4단계는 80 gal 보다 더 큰 지진이 지진가속도계에 측정되면 진행되며, 이때 상황진과 액티비티에 안내방송 요청 프로세서가 추가된다. 또한 통제위원회가 소집되며 교량 진입이 전면 중단 판단과 현재 교량에 진입한 차량의 정차지시가 내려진다(Fig. 4).

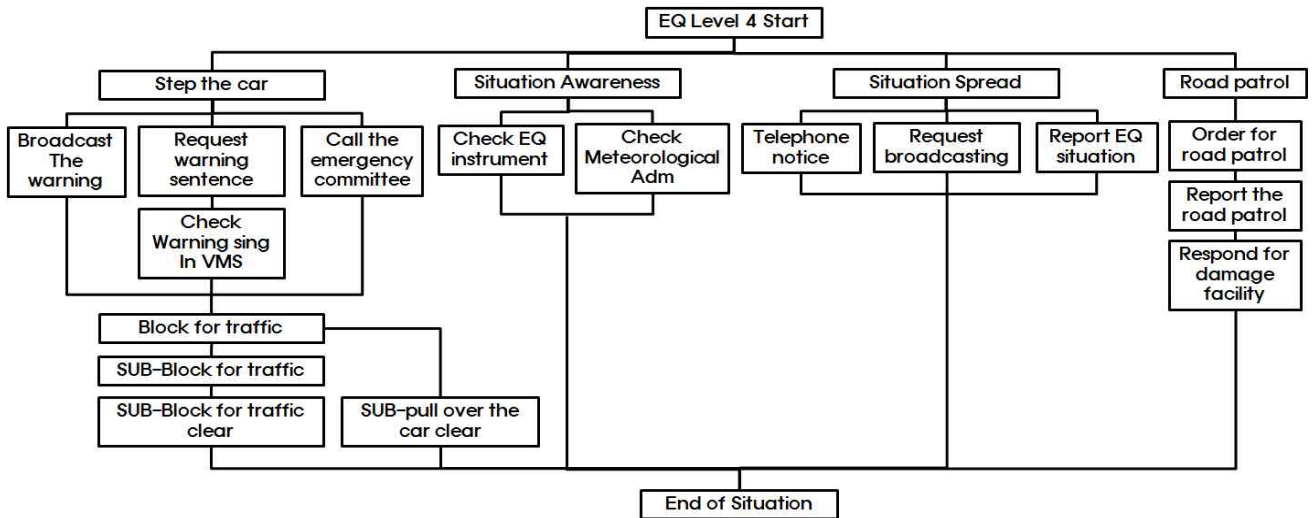


Fig. 4. Level 4 procedure.

3.3 초장대교량 지진에 대한 ADD 구축

비상대응절차는 이벤트별로 취해져야 할 비상대응 요구사항이 정의 되지 않으면 효과적으로 구축할 수 없을 뿐만 아니라 체계적인 구축이 불가능하다. 이를 위해 모든 비상대응시나리오의 각 이벤트별로 비상대응 시 취해져야 할 비상대응 요구사항을 액티비티로 정의하고, 하부의 세부 요구사항을 액션(Action)으로 정의한다. 이를 보다 효율적으로 표현하고자 Table 4와 같이 기호를 활용하고자 한다. 액티비티별 액션의 비상대응 조치내용의 ● 기호는 비상대응 행위의 주체이고 ○ 기호는 지시 및 전달을 받는 대상으로 구분한다(함, 2008).

Table 4. Symbols in AAD

Mark	Explanation
●	The subject of emergency response the act
○	The receiving destination

다양한 초장대교량의 지진에 대한 비상대응 시나리오를 분석한 결과는 8종류의 액티비티와 42종류의 액션을 구축하고, 이에 따라 교량이용자, 교량관리자, 외부기관별로 역할을 정의한다. AAD의 기본 개념은 비상대응 행위의 주체와 지시 및 전달을 받는 주체로 나누어진다. 의무적인 전달과 통보 그리고 비의무적인 전달과 통보 두 가지의 의사 전달 방법이 있다. 이것은 비상대응 관련 교량관리자와 교량이용자의 행동요령을 정리하는데 있어 반드시 해야 할 의무들과 아닌 것들로 나누어진다. 다음은 8개의 액티비티 중 상황과약 액티비티를 구축한 것이다. 지진 시 상황전파 액티비티는 지진계측기확인파 기상청 정보과약의 액션으로 나뉜다. 지진계측기를 확인의 행동주체는 지원팀이며 기상청 정보과약의 주체는 상황팀이다(Table 5).

Table 5. Situation Awareness

Action	1	2	3	4	5	6	7	8
	Control office				Bridge user	Branch	Traffic information center	Police station
	Control manager	Situation team	Safety team	Support team				
Check EQ instrument [1-1-A-1]		○		●				
Check Meteorological Adm [1-1-A-2]		○		●				

4. 초장대교량의 지진에 대한 비상대응시나리오 구축

지진의 교통통제모듈의 각 단계는 관리기준 작성을 기준하여 행동대상을 교량이용자, 교량관리자, 외부기관으로 나누어 작성한다. 교량에 설치된 지진가속도계측계의 통합관리 관측 데이터를 실시간으로 제공받음으로써 각 구간에 설치된 센서정보로 피해발생구간 예측이 가능함으로 신속한 현장대응을 할 수 있다(SHUAL, 2001). 지진에 대한 정보가 입수되면 이 정보를 통하여 신속한 상황전파가 가능함으로 유관기관과의 빠른 협조가 가능하다. 각 레벨 흐름은 Fig. 5와 같이 서해대교 특별근무 매뉴얼과 고속도로 재난관리 매뉴얼을 바탕으로 구축한다(한국도로공사, 2010).

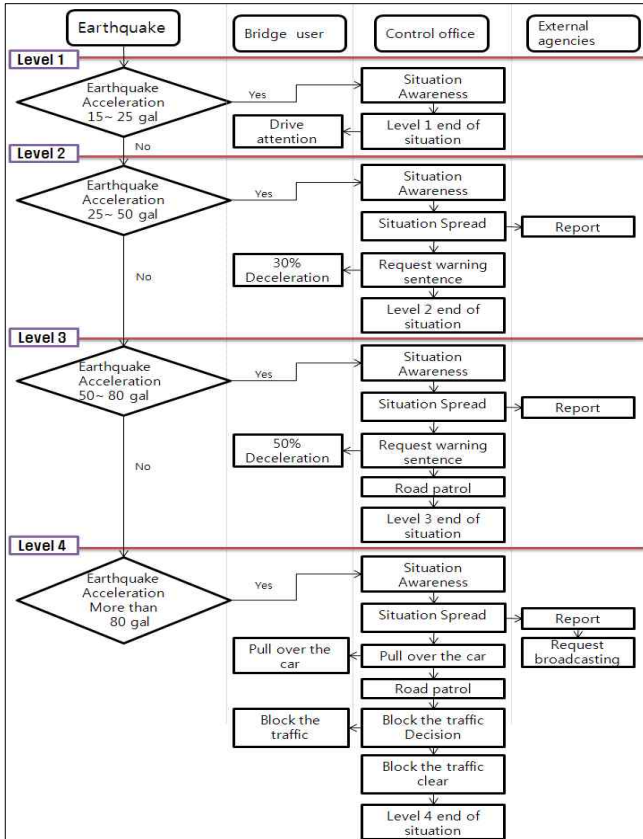


Fig. 5. Emergency response scenarios of earthquake.

5. 교량재난관리시스템 BDMS 개발

교량재난관리시스템(BDMS)은 Fig. 6과 같이 교량관리자가 지진 발생 시 짧은 시간에 효율적으로 비상대응을 할 수 있도록 구축하고 기존의 인트라넷(Intranet) 기반의 폐쇄적인 시스템이 아닌 인터넷 기반의 개방적인 시스템으로 구축한다. 또한 지진으로 인한 구조물의 이상 지점을 그래픽 상에 표시할 수 있는 시스템을 추가함으로써 위험을 보다 효율적으로 관리하여 사고가능성을 최소화 하고, 사고 발생시 공간정보를 바탕으로 신속한 의사결정을 할 수 있도록 한다.

교량재난관리시스템인 BDMS는 AAD를 코딩 작업하여 프레임워크를 구축하였다. 여기서 BDMS는 각각의 AAD를 레벨 별 알고리즘(Algorithm)의 순서로 설계한 후 프로그래밍 언어를 사용하여 교량재난관리시스템을 구축 하였다.

이 틀은 다양한 프로그램의 확장성과 용이한 수정이 가장 큰 장점으로 꼽을 수 있다. BDMS의 구성은 Fig. 7과 같이 워크리스크, 참여프로세스, 프로세스, 모니터, 프로세스매니저, 조직도, 상황판의 메인메뉴로 구성되어 있다. 메인화면에는 처리할 업무, 진행 중인 프로세스, 처리완료 프로세스가 함께 나타나도록 하여 현재진행상황과 처리해야할 업무를 한눈에 파악되도록 하였으며, 프로세스매니저 기능은 전체 비상대응 알고리즘 도식화 상에 현재 어디까지 프로세스가 진행되었는지를 용이하게 파악할 수 있는 흐름도이다.

Fig. 8은 프로그램 상에 구축된 지진 레벨 2단계에 해당하는 알고리즘이다. 특히 관리소장은 비상 시 총괄하는 모든 권한을 가짐으로, 각 팀의 업무가 지연 또는 프로세스가 다음단계로 넘



Fig. 6. First page of BDMS.

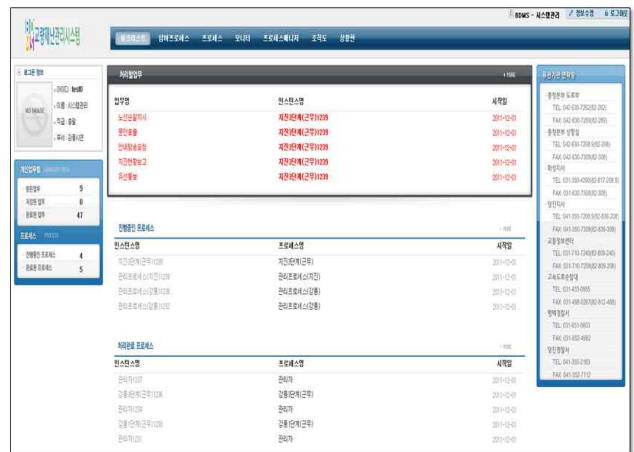


Fig. 7. Main page of BDMS.

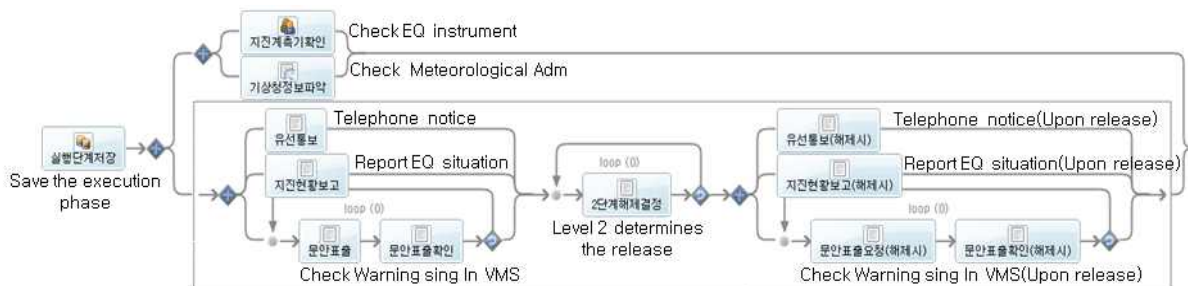


Fig. 8 Earthquake Level 2 algorithm of BDMS.

어가지 못하는 경우가 발생하면 관리소장의 권한을 통해 다음 단계로 진행하도록 한다. 긴박한 상황전개 시 관리자들이 현장과 사무실에 흠어져 있어 신속한 대응이 잘 이루어지지 못하는 경우를 예상하여 기능을 추가하였다.

6. 결론

본 연구에서는 국내의 해상에 건립된 초장대교량의 지진 재난 시 기존의 매뉴얼 중심의 대응방식에서 벗어나 개방적 IT기술을 접목하여 비상대응의 신속성 등으로 안전한 해상교량의 비상대응을 도모하기위한 프로그램이라 할 수 있다. 본 논문에서는 국내의 해상에 건립된 초장대교량의 지진에 대한 관리기준 현황을 조사하고 기존의 3단계로 제시된 관리기준을 4단계로 개선하여 구축하였으며, 지진 재난 시 고려할 수 있는 사고 등을 바탕으로 주체별/단계별로 구분하여 AAD기법을 기반으로 비상대응절차를 구축하였다. 또한 이를 바탕으로 지진에 대한 비상 대응 시나리오를 구축하여 개방적 IT기술인 교량재난관리시스템 BDMS을 개발하였다. 개발된 시스템을 적용하게 되면 초장대교량 관리사무소의 관리자들이 활용 가능한 정보의 질과 업무처리 속도 개선을 통하여 정보의 효율성, 신속성, 가시성 등의 증가를 가져다 줄 것이며 주탑 기초에 설치된 지진 가속도계를 통해 측정되어 데이터 값이 분석되고 각종 매체를 통해 지진정보가 제공될 것이다.

앞으로 추가적으로 현장의 효율적인 활용을 위해 모바일 환경에서도 교량재난관리시스템 BDMS이 설치활용 가능하도록 스마트 환경구축이 추가연구 되어야 할 것이며, BIM(Building Information Modeling)기술을 도입하여 현재 3D 상황판을 확장하여 모든 재난상황과 구조물의 이상 유무, 구조물의 현황을 통합관리 할 수 있도록 추후 연구가 진행되어야 한다고 사료된다. 또한 해상 초장대교량의 지진재해 발생 시 해상교통 대책과 비상대응 알고리즘의 연구가 추가적으로 진행되어야 한다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 ‘건설기술혁신사업’의 ‘초장대교량사업단(과제번호 08기술혁신E01)’ 과제 지원으로 수행하였으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

[1] 강익범(2011), 지진위험과 지진방재정책의 현황과 과제, 국토위원회, 통권355호, pp. 16-23.
 [2] 건설기술연구원(2010), 특수교량 건전도모니터링 관리기준 수립에 관한 연구, p. 44.
 [3] 공병승(2009), 장대해상교량의 방재시스템 구축에 관한 연구, 한국해양공학회지, 제23권, 제3호, pp. 59-64.

[4] 오순택(2010), 아이티·철레 지진을 통해 본 한국의 지진대책, 한국철도학회, 철도저널, 제13권, 제3호, pp. 14-22.
 [5] 이상철(2008), 특수교량의 유지관리 매뉴얼소개, 한국강구조학회, 제20권, 제3호, pp. 57-67.
 [6] 정길호(2011), 우리나라 지진현황 및 지진방재종합대책, 대한지방행정공제, 제 46권, pp. 28-33.
 [7] 통계청(2011), 지진발생빈도, p. 1.
 [8] 한국도로공사(2008), 고속도로 대형재난사고 종합대응체계 연구, pp. 185-188.
 [9] 한국도로공사(2010), 고속도로 재난관리 매뉴얼, pp. 72-74.
 [10] 함은구(2008), 도시재난 관리를 위한 u-철도 방재시스템 설계에 관한 연구, 한국화재소방학회 논문지, 제24권 제1호, pp. 72-80.
 [11] Eguchi, R. T.(1997), Real-time loss estimation as an emergency response decision support system: the early post-earthquake damage assessment tool(EPEDAT), pp. 815-832.
 [12] Huang, R. Q.(2009), Analysis of the geo-hazards triggered by the 12 May 2008 Wenchuan Earthquake, pp. 363-371.
 [13] SHUAI Xianhua(2001), Earthquake emergency response information system based on Arc View, p 1.
 [14] Sunaryo Sumitro(2001), Current and Future Trends in Long Span Bridge Health Monitoring System in Japan, p. 12.

원고접수일 : 2012년 01월 18일

원고수정일 : 2012년 02월 14일 (1차)

2012년 02월 22일 (2차)

게재확정일 : 2012년 02월 23일