Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 19, No. 2 pp. 632-638, 2018

https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.2.632
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

현장복구사례를 이용한 긴급복구 시나리오의 적용성 검증

윤혁진[1], 정재현[2*]
[1]한국철도기술연구원 ICT융합신기술팀, [2](주)지구환경전문가그룹 건설환경사업부

Verification of Applicability of Emergency Recovery Scenario Applying Field Recovery Case

Hyuk-Jin Yoon[1], Jae-Hyun Jung[2*]
[1]**ICT-Railroad Convergence Research Team, Korea Railroad Research Institute**
[2]**Civil and Environment Department, Expert Group for Earth and Environment Co., Ltd**

요 약 최근 태풍이나 홍수 등과 같은 자연재해, 구조물 설계 오류 및 부실공사 등으로 인해 수변구조물(교량, 옹벽 등) 등에 피해가 늘어가고 있다. 이러한 수변 구조물들은 피해(균열, 파손, 붕괴)가 발생할 경우 수변 구조물뿐만 아니라 그에 따른 추가 피해들이 크게 발생한다. 구조물 손상에 따른 추가 피해로는 시설물의 사용 중단 및 제한, 인명피해, 경제적 손실 등이 있다. 이러한 피해(인명피해, 사용 중단 및 제한 등)를 사전에 방지하기 위해 손상이 발생할 경우 현장여건(온도, 강우, 수위 등)에 적합한 복구공법을 적용해야한다. 신속한 보수·보강을 시행하여 발생할 수 있는 물적 피해, 인적 피해 등과 같은 손실을 최소할 수 있다. 손상 및 재해(태풍, 홍수)에 의해 피해가 발생했을 경우 경과 시간에 따라 피해(인적, 물적)가 더욱 확산되므로 긴급복구가 더욱 중요하다. 긴급복구를 위해서는 손상에 따른 적절한 보수·보강이 중요하다. 본 논문에서는 현장 복구사례(교량, 제방, 옹벽, 사면, 댐, 보)를 긴급복구공법 도출 시나리오에 적용하였으며 실제 사용된 복구공법과 비교하여 긴급복구공법 도출 시나리오의 적용성을 검증했다. 적용성 검증을 통해 실제 피해현장에서 보다 적절한 복구공법을 제시할 수 있어 실무 활용에 도움이 될 것으로 기대한다.

Abstract Recently, damage to waterside structures, such as bridges or retaining walls, is increasing due to typhoons, flooding, aging, etc. In such cases, the damage is not limited to the structures themselves, but can include effects on a wider scale, such as the suspension of and restriction of access to the facilities, human injury, economic loss, etc. To preclude such damage, recovery methods suitable for the particular field circumstances should be applied when damage occurs. By enforcing prompt repairs, the material and human damage and losses that can occur can be minimized. Since the impact of losses caused by damage and disaster increases with the elapse of time, emergency recovery is even more important. In the emergency recovery process, appropriate repair and reinforcement is crucial. In the present study, the derivation scenarios of the emergency recovery method were applied to some field recovery cases, and their applicability was verified by comparison with the recovery methods actually used. It is expected that the results of this study will be useful for practical application, by suggesting more appropriate recovery methods.

Keywords : Damaged, Emergency recovery, Field recovery cases, Typhoon, Waterside structure

1. 서론

최근 들어 태풍이나 홍수 등과 같은 자연재해, 구조물 설계오류 및 부실공사 등으로 수변 구조물들의 피해가 늘어가고 있다. 또한 1960년대 이후 건설된 많은 수변 구조물들이 40년 이상 노후가 진행되어 내구성 및 안정

본 논문은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설연구사업의 연구과제로 수행되었음.(17SCIP-B065985-05)
*Corresponding Author : Jae-Hyun Jung(Expert Group for Earth and Environment Co., Ltd)
Tel: +82-31-478-4100 email: cagito@ege.co.kr
Received January 3, 2018 Revised February 1, 2018
Accepted February 2, 2018 Published February 28, 2018

성이 떨어진 경우도 그중 하나이다. 수변 구조물의 피해는 구조물 사용중지 및 제한, 인명피해, 경제적 손실 등과 같은 추가 피해가 함께 따른다.

Kwon, J.S. et al. (2015)에 따르면 풍수해 재해는 사전 기상예측으로 대비할 수 있다. 하지만 그 예측치는 정확하지 못하여 국지성 집중호우로 인한 수변 구조물 붕괴, 하천 범람 등 피해가 발생하고 1974년부터 2003년까지 30년 동안 재해에 의한 연평균 재산피해는 10년 단위로 3.2배씩 증가하고 2014년까지 풍수해에 따른 재산 및 인명피해도 늘어가고 있다고 하였다[1].

Korea Specialty Contractors Association (2005)에 따르면 콘크리트 구조물의 경우 손상(균열 등)에 따라 그 성능 저하, 구조체의 역할을 상실시켜 수명을 단축하고 구조물 내하력, 내구성 및 방수성 등 모든 기능을 저하한다고 하였다. 따라서 내구성에 직접적인 영향을 주지 않는 작은 손상(균열)이라도 소홀히 다루어서는 안 된다고 하였다[2].

Allen et al. (1993)에 따르면 건설 환경은 새로운 투자보다 기존시설의 유지관리, 성능향상을 위한 보수·보강으로 변화되고 있고, 기존 시설물의 효율적인 관리 및 예산의 중복투자 방지를 위해 기존 시설물에 대한 유지관리, 수명연장 등에 대한 방향으로 가고 있다고 하였다.[3]

Yun, H.J. et al.(2015)은 수변구조물에 대하여 긴급복구공법 도출 시나리오를 개발하였다. 개발한 긴급복구공법 도출 시나리오는 전산적으로 운용할 수 있는 관련 절차 및 코드 정의가 포함되어 있고 기존 실시설계서에 산출되는 복구계획서와 같이 정밀한 계획은 아니지만, 피해확산을 방지하기 위한 긴급복구 시에 활용될 수 있는 수준을 목표로 하였다[4].

다만 이 시나리오는 다양한 실제 현장의 시공여건을 제대로 고려하지 못하였기 때문에 본 논문에서는 실제 복구 사례를 긴급복구공법 시나리오에 맞게 정리한 후 대상 긴급복구공법 시나리오에 적용한 후 두 결과를 비교・검증하여 실제 현장에 대한 적용성을 향상하였다.

2. 긴급복구공법 도출 시나리오 적용성 검증

2.1 개요

수변 구조물 긴급복구공법 도출 시나리오에 현장복구사례를 적용하여 도출한 복구공법과 실제 현장복구사례와 비교하였다. 현장복구사례를 구조물 제원, 지반상태, 피해사진, 피해형태, 피해 원인, 보수·보강방안으로 구분하여 긴급복구공법 도출 시나리오의 프로세스인 피해 유형, 피해 부재, 긴급공사기준, 환경조건, 피해형태, 긴급복구 공사종류, 긴급복구 공법에 적용하여 비교하였다.

2.2 현장복구사례 정리

Table 1은 복구사례 중 교량의 현장복구사례를 정리한 표이다. 현장복구사례를 통해 구조물의 제원, 피해사진, 피해형태, 피해 원인, 보수·보강 방안으로 나누어 정리하였다. 구조물 제원은 교량의 경우 경간 및 교장, 교량 형식, 주요 재료, 교량 형태 등으로 구분하여 정리하였다. 구조물 제원은 구조물마다 항목의 차이는 있다. 피해사진은 단면도 및 실제 피해사진이다. 피해형태는 손상 부재와 손상의 종류, 피해 원인은 손상의 원인, 마지막으로 보수·보강의 방안으로 정리하였다. Table 2는 제방의 현장복구사례를 정리한 표이다. 교량과 마찬가지로 현장복구사례를 통해 구조물 제원, 피해사진, 피해형태, 피해 원인, 보수·보강 방안으로 구분하였다. 이처럼 교량, 제방, 사면, 옹벽, 댐, 보의 현장복구사례를 정리하여 긴급복구공법 도출 시나리오에 적용하였다.

Table 1. Reinforcement case according to erosion of pier foundation part

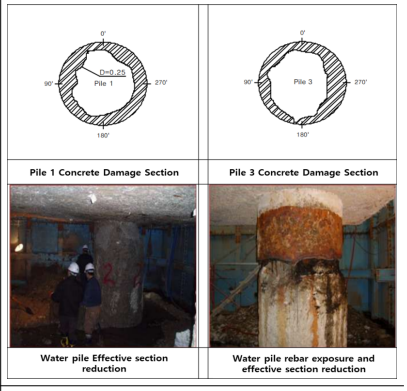
Classification	Content
Structure specifications	Bridge length : 500m(=10@50) no. of lanes : 2-way 4-lanes Form : PSC BOX continuous bridge Year of completed construction : 1993 Major material : Concrete Pier : Wall type Foundation : Expanded foundation
Ground state	Composed of clay layer, sand layer, sand-gravel layer, weathered rock layer
Damage picture	
Damage form	Steel reinforcement in field-installed pile at pier P7, P8 exposed with occurrence of cracks

Table 2. Reinforcement case for sliding collapse of river levee revetment (concrete block)

Classification	Content
Structure specifications	Watershed area : 46.40㎢ Total length of watershed : 12.67㎞ Average width of watershed: 3,662㎞
Damage picture	
Damage form	Collapse due to occurrence of sliding in some section of revetment installed as concrete blocks
Damage cause	Sliding of front slope due to overflow caused by severe flooding in excess of planned flood water level & flooding over a long time
Repair/reinforcement measure	Revetment block measure (plan) While 3 measures including reinforcement of Sheet Pile, expansion of middle were considered, expansion measure of small end in the middle was adopted by taking economy and field Circumstances into account .

2.3 현장복구사례 시나리오 적용

Fig. 1.는 Table 1의 긴급복구공법 도출 시나리오에 정리한 현장복구사례를 적용하여 복구공법을 도출한 그림이다. Table 1에 따라 와류에 의해 교각 손상이 시작된 것으로 보아 교량의 시나리오 중 피해유형 “하상 세굴 등에 의한 하부구조 유실 및 손상”에 적용하였다. 피해 부재가 교각이므로 Fig. 1.상 교량 기초, 교대는 해당이 안 되어 교각을 대상으로 긴급공사기준을 판단한다.

Table 1의 현장복구사례에서는 피해원인이 콘크리트 균열, 철근 노출이므로 시나리오 상 긴급공사가 필요하다. 피해부재가 교각, 피해원인이 콘크리트 균열, 철근노출에 따라 시나리오에 도출된 공법은 표면처리공법, 주입공법, 충전공법, 단면보수공법, 포대 콘크리트 설치공이다. 현장복구사례에서는 포대 콘크리트 설치공은 손상의 정도와 손상 부위의 중요도를 고려하여, 보수·보강은 건조 상태 작업이 필요하므로 수중작업이 필요한 포대콘크리트 설치는 현장복구사례에서는 고려하지 않았다. 따

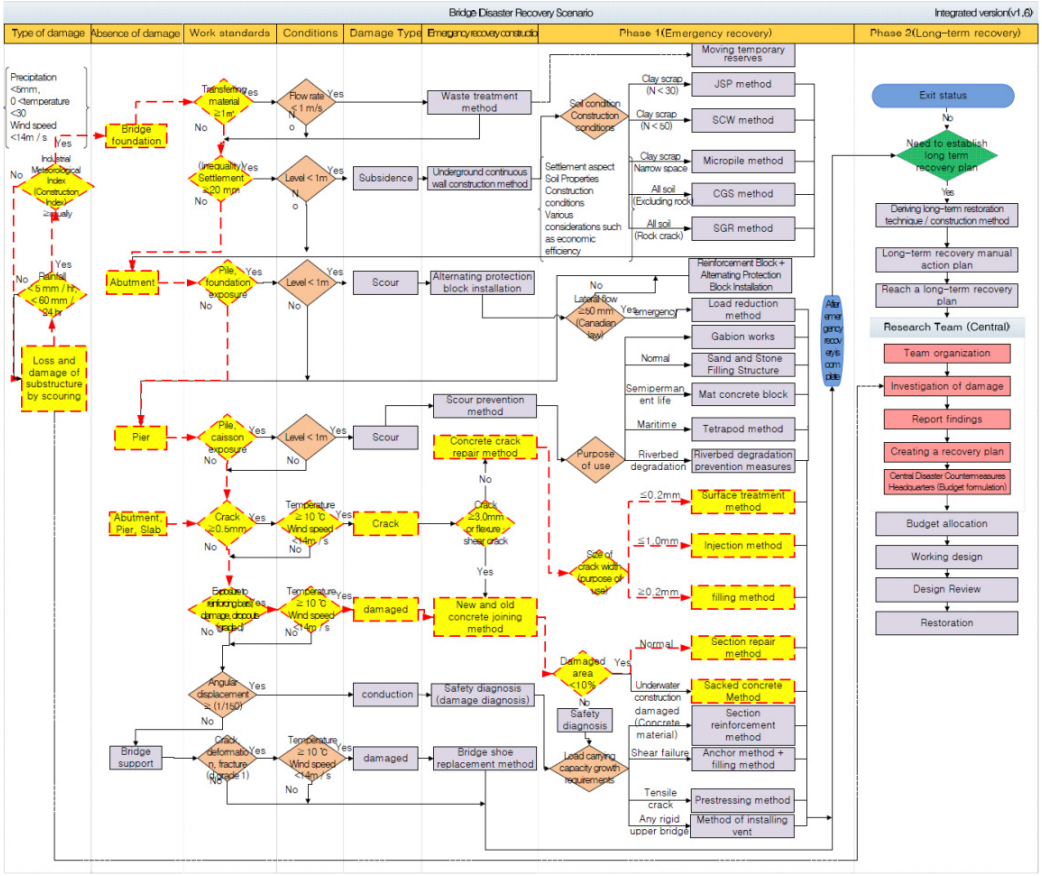


Fig. 1. Derivation of scenario method (Bridge)

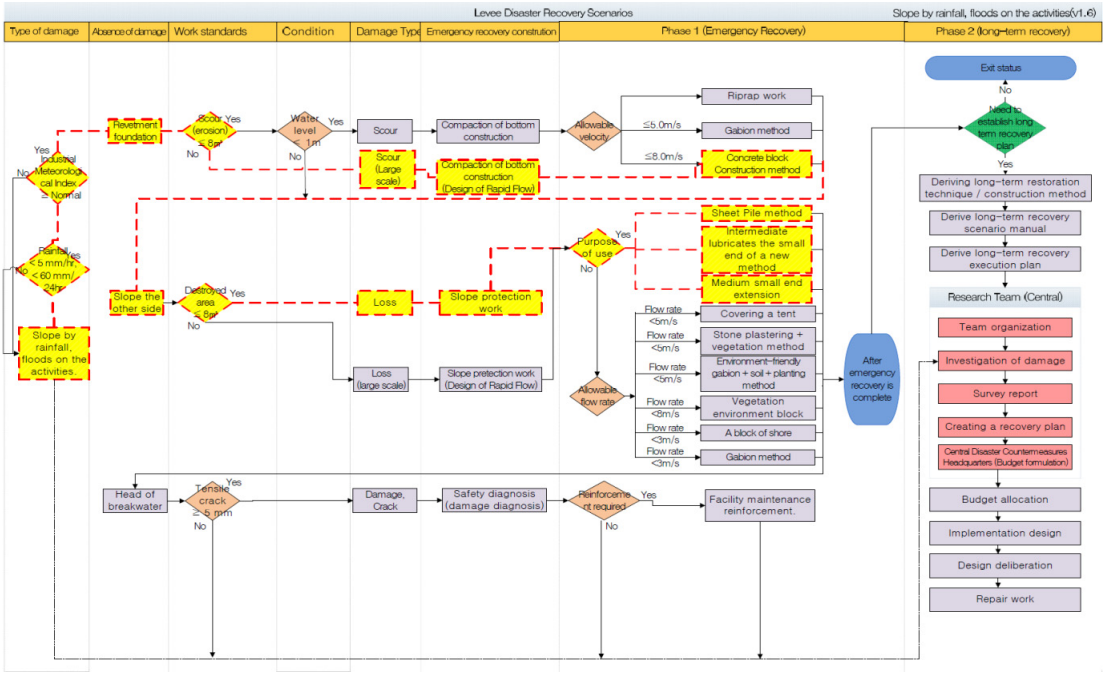


Fig. 2. Derivation of scenario method (Levee)

라서 현장복구사례는 단면보수공법, 균열보수공법을 제시하였고 시나리오는 표면처리공법, 주입공법, 충전공법, 단면보수공법, 포대 콘크리트 설치공으로 제시하였다. 시나리오 복구공법이 현장복구사례의 복구공법을 포함하여 제시하는 것을 알 수 있다. 이와 같이 긴급복구공법 도출 시나리오 복구공법과 현장복구사례의 복구공법을 비교하였다.

Fig. 2.는 Table 2의 자료를 이용하여 긴급복구공법 도출 시나리오에 적용하여 복구공법을 도출한 그림이다. 피해 원인이 계획 홍수위를 상회하는 대홍수로 월류 및 장시간 침수로 인한 앞 비탈 슬라이딩으로 제방 시나리오 중 피해유형 “강우, 홍수위에 의한 사면활동”에 적용하였다.

2.4 시나리오 – 현장복구사례 비교·검증

Table 3과 Table 4는 현장복구사례를 긴급복구공법 도출 시나리오에 적용하여 도출된 복구공법과 현장복구사례를 비교한 교량, 제방의 표이다. 비교한 항목으로는 피해 유형, 피해 부재, 긴급공사기준, 환경조건, 피해형태, 긴급복구 공종, 긴급복구 공법이다. 다만 환경조건은 대부분 알 수 없었다. 현장복구사례를 긴급복구공법 도출 시나리오에 적용하여 도출된 복구공법과 실제 사용된 현장복구사례의 복구공법을 기준으로 일치, 유사, 상이로 구분하여 비교하였다.

2.5 비교결과

현장복구사례를 긴급복구공법 도출 시나리오에 적용하여 도출된 복구공법과 실제 현장에서 쓰인 공법을 비교하였다. 비교건수는 교량 12건, 제방 4건, 사면 9건, 옹벽 10건, 댐 8건, 보 10건을 하였다. 각 현장복구사례의 복구공법과 긴급복구공법 도출 시나리오의 복구공법 비교결과는 교량의 경우 총 12건 중 일치 10건, 유사 1건, 상이 1건으로 83% 일치하였다. 제방의 경우 총 4건 중 일치 4건으로 100% 일치하였다. 사면의 경우 총 9건 중 일치 8건, 유사 1건으로 89% 일치하였다. 옹벽의 경우 총 10건 중 일치 2건, 유사 8건으로 일치율은 20%로 비교되었는데 옹벽은 복구사례가 대부분 긴급공사기준 수준에서 복구된 것이 아니라 심한 손상 후에 복구가 되어 긴급복구공법 도출 시나리오에 적용하기에 무리가 있었다. 댐의 경우 총 8건중 일치 5건, 유사 1건, 상이 2건으로 63% 일치하였다. 보의 경우 총 10건 중 일치 10건으로 100% 일치하였다. Table 5는 시나리오 - 현장복구사례를 비교결과를 정리한 표이다. Fig. 3.은 비교결과 그래프이다.

Table 3. Comparisons of emergency recovery scenario resulting from erosion of pier foundation part

Classification	Reinforcement case	Damage recovery scenario
Damage type	Erosion of pier foundation part	Sweep-away of lower structure to ·river bed scouring
Damaged member	Cracking of pile at piers P7, P8, exposure of steel reinforcements	Pier
Emergency construction criteria	Sweep-away of more than 1/3 of effective cross section of concrete for pile	Exposure, damage, dropout, etc. of steel reinforcement
Environment condition	Avoidance of underwater operation recommended	Industrial meteorology index higher than average
Damage form	Damage	Damage -Possible to be overturned
Emergency recovery construction type	Cross section repair type Crack repair type	Concrete crack repair type New & old concrete joining type
Emergency construction method	Cross section repair construction Crack repair construction	Concrete crack repair construction -Surface treatment method -Injection method -Filling method New & old concrete joining construction -Cross section repair construction

Table 4. Comparison of emergency recovery scenario resulting from sliding collapse of river levee revetment (concrete block) scenario resulting from sliding collapse of river levee revetment (concrete block)

Classification	Reinforcement case	Damage recovery scenario
Damage type	Sliding collapse of river levee revetment caused by severe flooding in excess of planned flood water level	Slope activity due to rainfall, flood water level
Damaged member	Levee revetment	Slope covered part
Emergency construction criteria	-	More than $8m^2$ in destroyed area
Environment condition	-	Industrial meteorology index higher than average
Damage form	Sliding collapse	Sweep away
Emergency recovery construction type	Slope protection type	Slope protection type
Emergency recovery method	Slope protection construction -Expansion method for small end in the middle	Slope protection construction -Expansion method for small end in the middle -SheetPile construction -New installation construction for small end in the middle

Table 5. Comparative analysis results

Classification	Case	no. of surveys	Comparison of recovery cases			Match
			Match	Similarity	Difference	
Bridge	11 cases other than erosion of pier foundation part	12	10	1	1	83%
Levee	3 cases other than sliding collapse of river levee revetment (concrete block)	4	4	-	-	100%
Slope	8 cases other than reinforcement of slope collapsed due to rainfall	9	8	1	-	89%
Retaining wall	9 cases other than collapse of retaining wall for Dongso-mun redevelopment apartment	10	2	8	-	20%
Dam	7 cases other than lateral cracking in upper part of dam	8	5	1	2	63%
Irrigation pool	9 cases other than scouring of upstream armor stone of fixed weir among submerged weirs	10	10	-	-	100%
Subtotal		53	39	11	3	73%

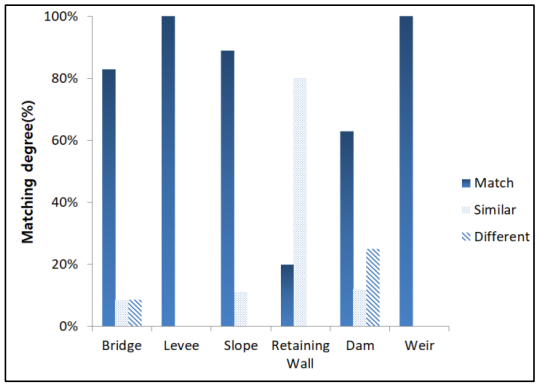


Fig. 3. Comparative analysis results

4. 결 론

본 논문에서는 긴급복구공법 도출 시나리오에 현장복구사례를 적용하여 비교・검증을 수행하였다. 또한 실제 현장 여건을 시나리오에 반영함으로써 현장 적용성을 향상하고자 하였다.

(1) 총 53건의 현장복구사례를 긴급복구공법 도출 시나리오에 적용하여 복구공법을 비교・검증하였다. 현장복구사례는 시나리오 프로세스에 맞게 구분하여 적용하였고 비교 방법으로는 현장복구사례를 긴급복구공법 도출 시나리오에 적용하여 도출된 복구공법과 실제 사용된 현장복구사례의 복구공법을 비교하였다. 또한 현장 여건 등을 반영할 수 있도록 시나리오를 개선하였다.

(2) 현장복구사례와 긴급복구공법 도출 시나리오의 비교 결과는 총 53건 중 일치 39건, 유사 11건, 상이 3건으로 총 일치율은 73%로 분석되었다.

(3) 옹벽의 경우 현장복구사례 대부분이 긴급복구 단계가 아니라 피해 부재의 심한 손상, 붕괴 등으로 긴급공사기준으로 판별하는 시나리오에 적용할 수 없어 정확한 비교가 되지 않아 일치도가 낮은 것으로 나타났으나 옹벽을 제외한 구조물 비교결과의 일치 확률은 매우 높은 것으로 나타났다.

(4) 긴급복구공법 도출 시나리오의 현장 적용성 비교·검증을 통해 피해현장에서의 복구공법 선정시 적절한 공법을 제시하여 실무활용에 이용할 수 있을 것으로 기대한다.

Reference

[1] J.S. Kwon, D.H. Yoon, J.H. Koh, Analysis of Shelters Acceptable Range According to Evacuation Speed During Flood Disaster by Severe Rain Storm, J. *Korean Soc. Hazard Mitig*, Vol. 15, no. 3, pp. 115~123, 2015. DOI: https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2015.15.3.115

[2] Korea Specialty Contractors Association, Cracks and defects of concrete structures, *Korea Specialty*

Contractors Association Earthwork Business Council, 2005.

[3] Allen, R.T., Edwards, S.C., Shaw, J.D.N, The repair of concrete structures, Chapman & Hall, 1993. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7208-8

[4] H.J. Yun, S,J. Han, J.H. Jung, A Study on Scenarios for Derivation of Emergency Recovery Method of Waterfront Structures, *International Journal of Engineering Research And Management*, Vol. 01, 2015.

윤 혁 진(Hyuk-Jin Yoon) **[정회원]**

- 2002년 2월 : KAIST 항공우주공학과 (공학석사)
- 2006년 8월 : KAIST 항공우주공학과 (공학박사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : UST 철도시스템공학과 부교수
- 2006년 8월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>
분포형 광섬유센서, 드론, 무인이동체

정 재 현(Jae-Hyun Jung) **[정회원]**

- 2000년 2월 : 중앙대학교 토목공학과
- 2000년 3월 ~ 2001년 2월 : 홍익기술단
- 2001년 3월 ~ 현재 : ㈜지구환경전문가그룹 상무

<관심분야>
토목계측, 자동화 모니터링