J. Soc. Korea Ind. Syst. Eng Vol. 39, No. 4 : 72-80, December 2016
http://dx.doi.org/10.11627/jkise.2016.39.4.072
ISSN : 2005-0461(print)
ISSN : 2287-7975(online)

Prediction and Evaluation of Schedule Exceptions on the EPC Projects of Overseas Plants

Hongsuk Sung · Jong-yun Jung · Chulsoon Park†

School of Industrial Engineering and Naval Architecture, Changwon National University

플랜트 프로젝트 일정위험 예외상황 예측 및 평가

성홍석 · 정종윤 · 박철순†

창원대학교 산업조선해양공학부

The market size of plant projects in overseas is so large that domestic EPC project contractors are actively seeking the overseas projects and then trying to meet completion plans since successful fulfillment of these projects can provide great opportunities for them to expand into new foreign markets. International EPC projects involve all of the uncertainties common to domestic projects as well as uncertainties specific to foreign projects including marine transportation, customs, regulations, nationality, culture and so on. When overseas project gets off-schedule, the resulting uncertainty may trigger unexpected exceptions and then critical effects to the project performance. It usually require much more time and costs to encounter these exceptions in foreign sites compared to domestic project sites. Therefore, an exception handling approach is required to manage exceptions effectively for successful project progress in foreign project sites.

In this research, we proposed a methodology for prediction and evaluation of exceptions caused by risks in international EPC projects based on sensitivity analysis and Bayesian Networks. First, we identified project schedule risks and related exceptions, which may meet during the fulfillment of foreign EPC projects that is performed in a sequence of engineering, procurement, preparatory manufacture, foreign shipping, construction, inspection and modification activities, and affect project performance, using literature review and expert interviews. The impact of exceptions to the schedule delay were also identified. Second, we proposed a methodology to predict the occurrence of exceptions caused by project risks and evaluate them. Using sensitivity analysis, we can identify activities that critically affect schedule delay and need to focus by priority. Then, we use Bayesian Networks to predict and evaluate exceptions. Third, we applied the proposed methodology to an international EPC project example to validate the proposed approach. Finally, we concluded the research with the further research topics. We expect that the proposed approach can be extended to apply in exception management in project management.

Keywords : EPC Project, Exception Prediction, Sensitivity Analysis, Bayesian Network

1. 연구배경

일반적으로 해외 플랜트 건설 프로젝트는 EPC(Engineering, Procurement, and Construction) 프로젝트 형태로 수행되며 이는 엔지니어링, 구매, 사전제작, 운송, 설치, 시험운용을 포함하는 일련의 단계적 활동들을 포함하고 있다. 국내 EPC 기업체들이 높은 기술력 및 우수한 인력을 바탕으로 경쟁력을 유지하고 있는 플랜트 건설 프로젝트 분야는 국내보다도 해외 시장규모가 훨씬 커서 참여 기업체들은 컨소

Received 23 November 2016; Finally Revised 5 December 2016; Accepted 6 December 2016
† Corresponding Author : cspark@changwon.ac.kr

시엄이나 조인트 벤처(Joint Venture) 등의 형태로 해외 프로젝트 수주를 위해 노력하고 있고, 수주한 프로젝트에 대해서는 일정납기 준수를 통해 프로젝트 수행능력을 보여주고 이를 통해 향후 해외시장 확장을 위한 기회로 삼으려 노력하고 있다[6, 14]. 하지만 해외 사이트에서의 EPC 프로젝트 수행은 국내와 비교해서 훨씬 높은 수준의 복잡성, 변동성, 이질적인 환경으로 인한 불확실성을 포함하고 있다. EPC 프로젝트 형태로 수행되는 저장탱크 건설 산업분야에서 높은 기술력을 보유하였고 해외 EPC 프로젝트 수행실적이 많은 S사의 사례를 통해 살펴보면, 태국 사이트의 경우 양호한 인프라, 장비 및 자재수급 용이, 우수한 현지 용접기술자, 지속적 인맥관리 등으로 인해 불확실성이 적어 수행과정에서 향후예측이 수월하여 프로젝트 진행에 큰 어려움이 없는 것으로 알려져 있다. 하지만 필리핀 사이트의 경우에는 태국과는 상황이 많이 달라서 프로젝트 진행 중 불확실성에서 발생하는 예외상황 발생 시 대응에 어려움을 경험하는 경우가 많고, 이는 프로젝트 수행결과에 종종 치명적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

일반적으로 해외 사이트에서 프로젝트 진행을 하면서 발생할 수 있는 프로젝트 일정에 영향을 줄 수 있는 일정위험 요인들은 국내의 경우보다 해외 사이트에서 훨씬 복잡한 것으로 알려져 있다[7]. 해외 사이트에서는 국내 사이트에서 고려해야 할 기본적인 위험요인 이외에 해상운송, 통관, 법률, 관습, 문화, 국민성 등과 같이 해외 사이트에만 관련된 복잡한 요인들이 프로젝트 진행에 영향을 미칠 수 있다. 일례로, 해외 플랜트에서 EPC 프로젝트를 수행할 때 국내에서 단위 구조물을 제작하여 선박을 통해 운송을 한 후 현지에서 조립해야 하므로 반드시 해상운송 과정이 필요하다. 이때 통관서류의 관세코드 오류 등으로 인해 선적지연 예외상황이 발생하고 이로 인해 해외 프로젝트 사이트에서는 자재도착지연이 발생하게 되어 결과적으로 프로젝트 일정에 치명적인 결과를 초래할 수 있다. 즉, 해외 사이트에서 프로젝트를 진행하면서 당초의 계획에 차질이 생기면서 예외상황이 발생했을 때 이 예외상황에 대처하게 위해서는 국내의 경우보다 훨씬 많은 시간과 비용을 초래할 수 있다. 해외 사이트에서 갑작스런 일정변경으로 인해 자재나 장비 등의 소요 시기와 수량이 예상과 달리 변경될 경우 이들을 해외에서 수급, 조달하기 위해서는 국내의 경우보다 더 많은 비용과 시간을 요구하게 되며 이들은 프로젝트 수행에 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서 S사와 같은 해외 플랜트 EPC 프로젝트 수행 기업 입장에서는 고객사 및 원청사에 대한 지속적 모니터링을 통해 이들에게서 기인하여 빈번히 발생하는 것으로 알려진 기초토목공사 지연에 대해 영향을 파악하고 향후일정을 미리 조정하여 대처할 수 있다. 즉, 이와 같은 예외상황으로 인해 프로젝트 일정지연이 초래될 것으로 예측될 때 향후 후속활동들에 대한 착수일정을 예측하여 인력 및 장비/자재의 수요시기를 조정하여 선적함으로써 프로젝트 비용 증가 위험을 줄일 수 있다. 따라서 해외 사이트에서 성공적인 EPC 프로젝트 수행을 위해서는 이러한 위험요인들에 의해 초래될 수 있는 예외상황들에 대처하여 프로젝트 일정관리를 수행할 수 있는 체계적 방안이 필요해 진다.

본 연구에서는 해외 EPC 플랜트 프로젝트의 원활한 수행을 위해 프로젝트 수행 중 발생할 수 있는 예외상황에 대처할 수 있도록 민감도 분석 및 베이지안 네트워크 기반의 예외상황을 고려한 일정위험 예측 및 일정평가 방법론을 제시 한다. 첫째, 해외 EPC 프로젝트 과정에서 발생할 수 있는 위험요인 및 위험요인에 관련된 예외상황들을 문헌조사 및 전문가 인터뷰를 통해 도출한다. 둘째, 베이지안 네트워크 기반으로 일정 위험요인으로 인한 예외상황을 평가할 수 있는 방법론을 제시한다. 먼저, 민감도분석을 수행하여 일정지연에 치명적인 영향을 초래할 수 있는 핵심활동들을 도출한 후 베이지안 네트워크를 이용하여 예외상황을 예측하고 각 예외사항에 대한 대처방안을 수립하여 이를 평가하는 방안을 제안한다. 셋째, 본 연구에서 제안하는 방법론의 해외 EPC 프로젝트 사례 적용을 통해 방법론의 적용가능성을 검증 한다. 마지막으로, 추후연구 주제를 제시하면서 본 연구에 대한 결론을 제시 한다. 본 연구의 결과는 프로젝트 관리에서의 예외상황 관리에 적용하기 위해 확장될 수 있을 것으로 기대한다.

2. 관련 연구

최근 프로젝트 일정 위험에 대한 관심이 커지면서 다양한 방법으로 관련 연구가 진행되고 있다. 프로젝트 위험 및 불확실성을 평가할 수 있는 방법으로 가장 많이 활용되고 있는 방법은 몬테카를로 시뮬레이션기법이다[5, 18, 20]. 몬테카를로 시뮬레이션은 Crystal Ball, @risk 등과 같은 상용 소프트웨어 패키지로 구현되어 널리 보급되고 있다. 하지만 이 기법은 프로젝트 위험을 독립사상으로 가정하고 있어 각 위험간의 상호연관성을 표현할 수 없고 활동의 기간들이 통계적으로 독립인 것으로 가정하고 있다는 비현실적인 문제점을 포함하고 있다.

프로젝트 일정위험 평가에 인공지능 기법들을 접목하려는 시도가 있었으나 실무에 적용하기에는 아직까지 제한적인 것으로 알려지고 있다[11]. 베이지안 네트워크 기반의 프로젝트 위험평가에 대한 분야에서도 많은 연구가 이루어지고 있다[9, 12, 21]. 하지만, 일부 연구에서는 통합 위험에 대한 평가만을 대상으로 하고 있어 개별적 위험 및 위험

대응책에 대한 평가는 포함하고 있지 않아 적용하기에 어려운 실정이다. 이러한 문제점을 극복한 연구도 있었지만 해외 사례에 적용할 수 없는 문제를 포함하고 있다[17].

해외 플랜트에서의 프로젝트 수행에 관련하여 위험요인을 파악하고 이들에 대한 대처방안을 제시하고 있는 많은 연구가 있다[2, 14, 16]. Bing과 Tiong[4]은 해외 공동컨소시엄 프로젝트에서의 위험요인과 관리방안에 대해 제시하고 있으며 Ward와 Chapman[19]은 해외 프로젝트 수명주기의 각 단계에서 관리되어야 할 위험요인들을 정리하여 제시해 주고 있다.

해외 플랜트 EPC 프로젝트의 경우 해상운송은 필수적인 활동으로 볼 수 있다. 이러한 해상운송에서 고려해야 할 위험요소에 대해 정리하고 있는 문헌들이 있다[10, 13]. 특히, Monga[13]는 아시아 지역, 특히, 중국에서 발송되는 화물에 대해 발생할 수 있는 운송지연 요인들을 보여주고 있는데 내륙운송 지연, 통관문서 미비로 인한 통관 지연 등을 주요 위험요인으로 제시하고 있다.

3. 해외 플랜트 EPC 프로젝트의 일정 위험요소 및 위험관리

제 3장에서는 프로젝트의 일정에 영향을 미치는 위험요소와 각 위험요소별 예외사항 평가 및 대처방안 수립에 대해 기술한다.

3.1 일정 위험요소 식별

본 연구에서는 해외 EPC 프로젝트에서 발생할 수 있는 위험요소들을 문헌조사 및 전문가 인터뷰를 통해 도출하였다. <Table 1>은 프로젝트 일정에 영향을 미칠 수 있는 일부 위험요소들을 프로젝트 진행 단계별로 분류해 놓은 위험요소 분류체계의 예이다.

<Table 1> Example of Categorized Schedule Risk Factors by Project Phase

Project Phase	Schedule Risk Factor	Category
Engineering	Mistakes, discrepancies, delays in design documents	Technical
	Unclear and inadequate details in drawings	Technical
	Misunderstanding of owners requirements	Technical
	Design team experience(design errors and omissions etc.)	Quality
	Long waiting time for approval of drawings	Legal
	Design Changes by owner or Stakeholder	Contract
Procurement & Pre-Fabrication	Shortage of materials in markets	Market
	Poor procurement systems of materials	Management
	Delays in design information from engineering party	Technical
	Currency exchange rate fluctuation	Economic
	Funding shortage	Finance
	Failure to comply with contractual quality requirements	Technical
Transportation	Traffic Conditions(truck, road, port, facility etc.)	Infrastructure
	Import/export restrictions, Customs inspection	Legal
	Incorrect Documentation(code error, missing etc.)	Management
	Weather condition(rain season, typhoon etc.)	Weather
	Port strike, Holidays, Labor union	Labor
	Pirate hijacking, Terror	Political
Construction (Erection)	Inappropriate type of foundations or slow site hand over	Contract
	Inclement weather(rain, temperature, wind, humidity etc.)	Weather
	Defective, improper, shortage of materials and equipment	Material
	Labor injury or equipment breakdown	Infrastructure
	Poor social security at the location(theft, burglar etc.)	Social
	Different culture, customs, religion and Language	Culture
	War, terror, social and political disorder	Political
	Laws and local standards, constrains on employment	Legal
	Inexperienced workforce and staff turnover, injury	Labor
Test & Pre-Operation	Shortage of Testing material/infra(water, electricity etc.)	Infrastructure
	Complex planning approval and permit procedures	Legal
	Long waiting time for approval of Test	Tradition

<Table 2> Example of Risk Factor, Probability, Exception/Consequence and Related Activities

Schedule Risk Factor	Probability	Exception/Consequence	Related Activities
R1 : Inadequate details in drawings	0.2	High(about 30% schedule delay)	A, B, C
R2 : Delays in design information	0.1	Medium(about 20% schedule delay)	A, B, D
R3 : Incorrect documentation	0.2	Low(about 10% schedule delay)	C
R4 : Inexperienced labor and injury	0.3	Medium(about 20% schedule delay)	D
R5 : Shortage of testing infrastructure	0.3	High(about 30% schedule delay)	C, D

<Table 3> Example of Response Plan, Response Strategy/Effect and Related Risk Factors

Response Plan	Response Strategy/Effect	Related Risk Factors
P1 : Detect drawing errors using checklists	M1 : Mitigate, about 99% decrease exception	R1
P2 : Acquire high level, training unskilled labor	M2 : Mitigate, about 90% decrease exception	R2
P3 : Perform document quality review	M3 : Mitigate, about 95% decrease exception	R3
P4 : Prepare and Acquire materials, infra earlier	M4 : Mitigate, about 90% decrease exception	R4

3.2 위험요소 및 예외사항 평가

일정 위험요소는 프로젝트 수행 중 기대하지 않은 예외상황을 발생시켜 프로젝트 일정 네트워크의 각 활동에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서 위험요소로 인한 예외상황이 프로젝트에 미치는 영향의 크기를 예측하기 위하여 위험요소별 발생확률, 발생 가능한 예외상황을 평가하고 영향을 미치게 될 관련 활동을 식별하여야 한다. 본 연구에서는 전문가 인터뷰를 활용하여 <Table 2>와 같이 위험요소별 발생확률, 예외상황 및 영향력의 크기를 분석하고 영향을 받는 일정 네트워크 내의 관련 활동을 식별하였다.

3.3 위험요소별 대처방안 수립

식별, 분석된 위험요소 및 예외상황에 대한 대처방안을 계획단계에서 수립하고 프로젝트 수행 중 위험요소가 인지될 경우, 즉시 대처방안을 실행하여 프로젝트에 미치는 부정적인 영향을 제거 또는 감소시켜야 한다[15]. <Table 3>에는 전문가 인터뷰를 통하여 도출된 대처방안, 전략, 영향력 및 관련 위험요소가 수록되어 있다. 프로젝트 일정 지연의 영향을 평가하기 위하여 위험요소 및 예외사항으로 인한 영향의 크기뿐만 아니라 프로젝트 수행 중 대처방안의 수행으로 감소 또는 제거되는 위험의 영향도 평가에 포함 되어야 한다. 따라서 위험요소별 대처방안을 수립하고 영향의 크기를 분석한 후 관련 위험요소와 통합, 평가 하여야 한다.

4. 베이지안 네트워크 기반의 일정위험요소 및 예외상황 관리

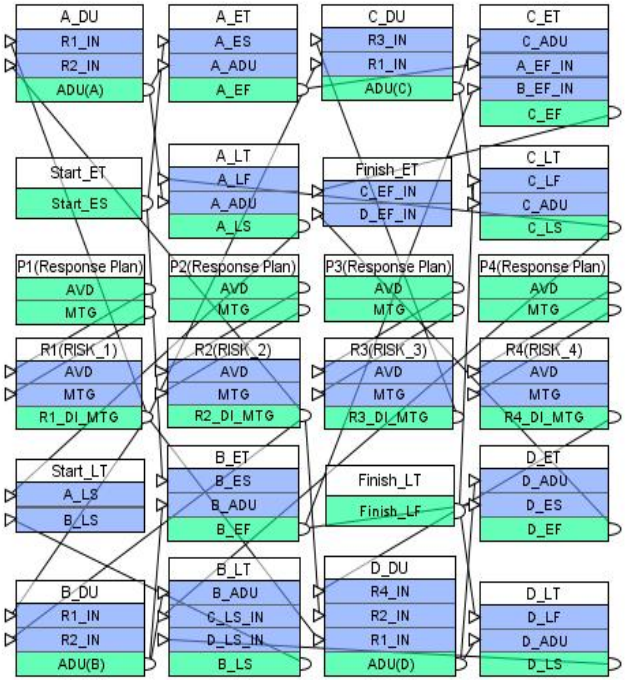
일정위험요소와 예외상황 평가 및 대처관리를 위해 먼저, 베이지안 네트워크 기반의 일정위험요소 및 예외상황 평가 모델을 수립한다. 다음으로, 민감도 분석을 수행하여 프로젝트에 미치는 부정적 영향이 큰 위험요소들을 식별하고 우선순위를 결정한다. 마지막으로 프로젝트 수행 중 발생할 수 있는 예외사항에 대한 대처방안을 평가 모델에 적용, 프로젝트에 미치는 영향을 평가하는 방법을 제안한다. 평가에 사용된 도구는 노드의 조건부확률에 이산 또는 연속 분포를 적용 할 수 있는 소프트웨어 도구가 사용되었다[1].

4.1 베이지안 네트워크 기반의 모델링

베이지안 네트워크 기반의 일정위험요소 및 예외상황 평가 관리를 위해 일정 네트워크, 일정위험요소 및 예외상황이 베이지안 네트워크로 변환되어야 한다[3, 8, 17]. 먼저, <Table 4>의 활동속성, 활동간 선후관계, 제약사항 및 활동구간을 베이지안 네트워크의 노드 및 방향성 화살표로 변환한다. 다음으로, <Table 2>의 위험요소, 발생확률, 위험요소로 인한 예외상황 및 예외상황의 발생으로 프로젝트에 미칠 수 있는 위험의 크기를 베이지안 네트워크로 변환하고 관련 활동과 화살표(Arc)로 연결 한다. <Figure 1>은 일정 네트워크, 일정 위험요소 및 예외상황이 베이지안 네트워크로 변환된 예이다.

<Table 4> Activities, Predecessors and Activity Durations

ID	Activity Name	Predecessor	Activity Duration
1	A	Start	Triangular(3, 5, 7)
2	B	Start	Triangular(3, 4, 5)
3	C	1, 2FS	Triangular(4, 6, 7)
4	D	2FS	Triangular(1, 3, 4)



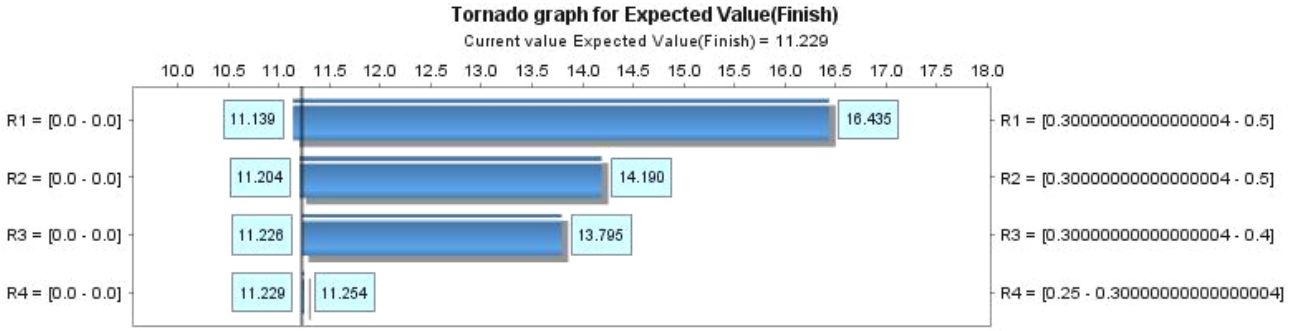
<Figure 1> Evaluation Model with Bayesian Network Tool

4.2 정량적 민감도 분석 및 우선순위 도출

민감도 분석을 실시하여 우선적으로 관리되어야 할 핵심활동 및 위험요소의 우선순위를 도출한다. <Figure 1>의 베이지안 네트워크를 대상으로 민감도 분석을 실시하면 <Figure 2>와 같은 결과를 도출할 수 있다. 분석 결과 도출된 우선순위는 대처방안 개발 및 일정위험관리에 고려되어야 한다.

4.3 예외사항 대처방안 평가

대처방안은 프로젝트 수행 중 위험요소가 발견되는 즉시 실행되어 프로젝트에 미치는 영향의 크기를 감소 또는 제거 한다. 따라서 위험요소 및 예외상황이 프로젝트의 일정에 미치는 영향을 평가하기 위해, 일정 네트워크에 대처방안이 통합되어야 한다. <Figure 1>은 <Table 2>의 위험요소 및 <Table 3>의 대처방안을 일정 네트워크에 통합한 결과이다. 통합된 베이지안 네트워크 기반의 일정 네트워크를 평가하면 <Table 5>와 같은 결과를 도출할 수



<Figure 2> Result of Sensitivity Analysis(Tornado Graph)

<Table 5> Results of Risk Factor, Exception and Response Strategy Assessment

Risk Factor/Response Strategy		Expected Time	Confidence Interval(90%)	Impact
No Risk Factor, No Response Strategy		11.107	[9.988, 12.288]	-
R1(Risk Factor 1)	NR	15.512	[13.253, 17.957]	4.405
	M1	12.441	[11.029, 13.963]	3.071
R2(Risk Factor 2)	NR	12.530	[10.999, 14.250]	1.423
	M2	11.550	[10.341, 12.849]	0.980
R3(Risk Factor 3)	NR	13.861	[11.933, 15.941]	2.754
	M3	11.939	[10.618, 13.341]	1.922
R4(Risk Factor 4)	NR	11.108	[9.993, 12.289]	0.001
	M4	11.107	[9.988, 12.288]	0.001
R1, R2, R3, R4	NR	16.330	[14.190, 18.667]	5.223
	M1, 2, 3, 4	12.765	[11.359, 14.271]	3.565

*NR : No Response Strategy, M1~M4 : Mitigation Strategy.

있다. 표에는 위험요소 및 대처방안, 기대시간, 90% 신뢰구간, 일정지연 영향의 크기가 수록되어있다. 위험요소 및 대처방안 열에는 식별된 위험요소 및 대처방안이 수록되어 있어 위험요소 및 대처방안별 일정지연 영향의 크기를 비교 해볼 수 있다. 일정지연 영향 열에는 위험요소를 적용하지 않은 경우의 기대시간과 각 위험요소 및 대처방안을 적용한 경우의 기대시간의 차이를 수록하여 대처방안이 일정에 미치는 영향의 크기를 알 수 있다.

5. 사례연구를 통한 검증

해외 플랜트 EPC 프로젝트 수행 전문기업인 S사의 사례를 통하여 논문에서 제안하는 방법의 적합성을 검증한다.

5.1 일정위험 평가 모델

필리핀 현지에서 수행된 S사의 저장탱크 프로젝트 일정 네트워크에 대한 주요활동, 기대시간, 제약조건, 빠른시작일(ES), 빠른완료일(EF), 늦은시작일(LS), 늦은완료일(EF) 및 총여유시간(TF)이 <Table 6>에 수록되어 있다. <Table 7>에는 프로젝트 수행 중 발생 가능한 위험요소, 발생확률, 예외상황 및 관련 활동이 수록되어있다. 위험요소들은 하나이상의 활동에 영향을 미쳐 예외상황이 발생된다. 식별된 위험요소에는 하나이상의 대처방안이 수립되어 프로젝트 수행 중 위험요소가 발견되면 즉시 실행되어야 한다. <Table 8>에는 대처방안 및 대처방안의 영향 및 관련 위험요소를 수록하였다. 대처방안 역시 하나이상의 위험요소에 적용될 수 있다. <Figure 3>은 <Table 6>~<Table 8>을 바탕으로 베이지안 네트워크 도구를 사용하여 예외상황 및 일정평가 모델링을 수행한 결과이다. 위험요소, 예외상황 및 대처방안을 일정 네트워크에 통합하였다.

5.2 일정위험 평가 절차

프로젝트 일정에 미치는 영향의 크기를 정량적으로 평가하기 위해 일정 네트워크, 위험요소, 예외상황 및 대처방안이 베이지안 네트워크로 변환되고 통합되어야 한다[17]. 먼저, <Table 6>의 프로젝트 일정 네트워크를 베이지안 기반의 네트워크로 변환한다. 일정 네트워크 내의 활동은 빠른시작일(ES), 빠른완료일(EF), 늦은시작일(LS), 늦은완료일(EF), 활동기간(DU) 및 총여유시간(TF) 등의 속성으로 구성되므로 각 속성을 베이지안 네트워크의 노드(Node)로 변환 한 후 관계를 화살표(Arc)로 연결한다. 활동의 기간에는 다양한 분포를 적용할 수 있지만 본 연

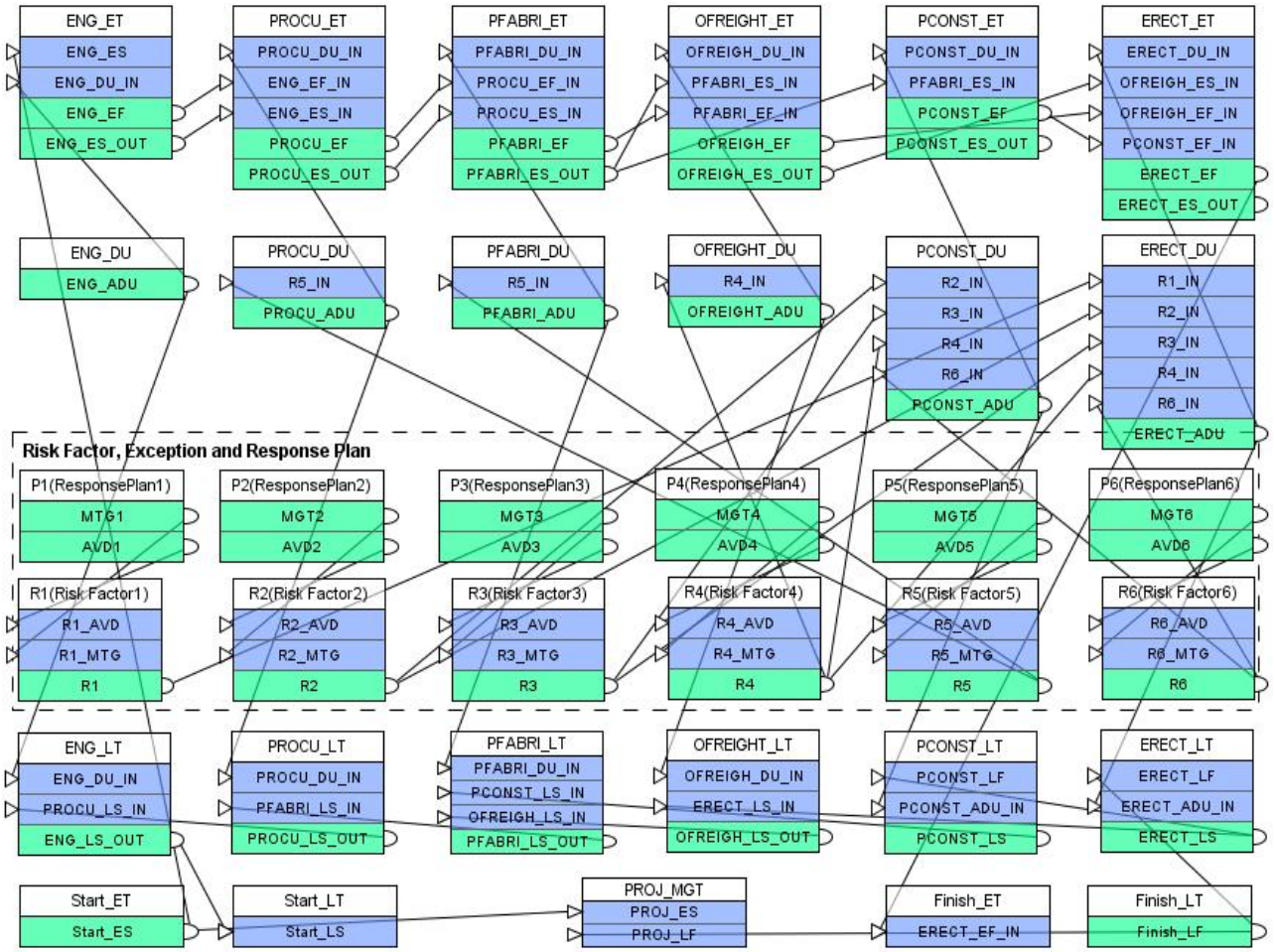
<Table 6> Activity, Expected Time, Constraints, Early/Late Time and Total Float

ID	Activity Name	Expected Time	Constraints	Early Time		Late Time		Total Float (TF)
				ES	EF	LS	LF	
1	Project Initiation	-		0	0	0	0	0
2	Engineering(Design)	21	1 FS	0	21	0	21	0
3	Material Procurement	37	2 SS +8, 2 FF	8	45	8	45	0
4	Pre-Fabrication(Domestic)	39	3 SS +2, 3 FF	10	49	10	49	0
5	Freight(Ocean & Land)	37	4 SS +6, 4 FF	16	53	16	53	0
6	Pre-Construction(Foreign)	9	4 SS +2	12	21	12	21	0
7	Storage Tank Erection	61	5 SS +4, 6 FS, 5 FF	20	81	20	81	0
8	Project Management Work	81	1 FS, 9 FF	0	81	0	81	0
9	Project Completion	-	7 FS	81	81	81	81	0

<Table 7> Identified Risk Factor, Probability, Exception/Impact and Related Activity

ID	Risk Factor	Probability	Exception/Consequence	Related Activity
R1	Slow site hand over	0.6	High : about 50% schedule delay	7
R2	Shortage of equipment	0.5	Medium : about 30% schedule delay	6, 7
R3	Shortage of labors	0.5	Medium : about 30% schedule delay	6, 7
R4	Traffic control and restriction at site	0.3	Medium : about 30% schedule delay	5, 6, 7
R5	Shortage of manufacturing materials	0.2	Low : about 10% schedule delay	3, 4
R6	Nationality of labors	0.2	Low : about 10% schedule delay	6, 7

구에서는 삼각분포를 적용하였다. 또한 활동과 활동사이에는 다양한 제약조건이 추가될 수 있다. 속성 및 제약조건은 노드, 화살표 및 조건부 확률테이블(CPT)로 표현되며 일정 네트워크를 구성하게 된다. 다음으로, 문헌조사 및 전문가의견을 수렴하여 식별된 <Table 7>의 위험요소, 발생확률 및 프로젝트 예외상황을 베이지안 네트워크로 변환한다. 위험요소는 <Table 7>에 수록된 관련 활동을 참조하여 <Figure 3>의 중앙부분에 표현된 R1~6과 같이 활동기간 노드에 연결한다. 위험요소는 활동의 시작, 활동의 기간 또는 활동의 완료에 영향을 미칠 수 있으나 본 연구에서는 활동의 기간에 영향을 미치는 것으로 가정하였다. 마지막으로, 대처방안을 베이지안 네트워크로 변환한 후 <Figure 3>의 중앙부분에 표현된 P1~6과 같이 위험요소와 통합한다. <Table 8>에 수록된 대처방안은 위험요소의 발생확률 또는 예외상황의 크기에 영향을 미치게 된다. 통합된 베이지안 네트워크 기반의 일정 네트워크로 평가를 수행하면 <Table 9>와 같은 정량적인 결과를 도출할 수 있다.



<Figure 3> Schedule Network Diagram for Storage Tank Project

<Table 8> Response Plan, Strategy, Strategy Effect and Related Risk Factor

ID	Response Plan	Strategy	Response Strategy/Effect	Related Risk Factor
P1	Continuously monitoring clients project	Mitigate	M1 : about 90% decrease exception	R1
P2	Acquire high performance equipment	Mitigate	M2 : about 95% decrease exception	R2
P3	Hire skilled labors and training	Mitigate	M3 : about 95% decrease exception	R3
P4	Site clearance and prepare earlier	Mitigate	M4 : about 90% decrease exception	R4
P5	Make more quality materials seller lists	Mitigate	M5 : about 95% decrease exception	R5
P6	Educate culture, customs and nationality	Mitigate	M6 : about 99% decrease exception	R6

<Table 9> Results of Assessment for Storage Tank Project

Risk Factor/Response Strategy		Expected Time	Confidence Interval(90%)	Impact
No Risk Factor, No Response Strategy		82.563	[77.669, 88.163]	-
R1(Risk Factor 1)	NR	128.580	[111.160, 147.020]	46.017
	M1	96.400	[88.891, 104.780]	32.180
R2(Risk Factor 2)	NR	114.100	[97.315, 131.750]	31.537
	M2	92.032	[84.827, 99.999]	22.068
R3(Risk Factor 3)	NR	114.100	[97.315, 131.750]	31.537
	M3	92.032	[84.827, 99.999]	22.068
R4(Risk Factor 4)	NR	114.100	[97.315, 131.750]	31.537
	M4	92.032	[84.827, 99.999]	22.068
R5(Risk Factor 5)	NR	82.563	[77.669, 88.163]	0
	M5	82.563	[77.669, 88.163]	0
R6(Risk Factor 6)	NR	96.479	[83.920, 112.020]	13.916
	M6	86.655	[80.426, 93.876]	9.824
R1, R2, R3, R4, R5, R6	NR	134.800	[119.340, 152.350]	52.237
	M1~6	98.223	[91.025, 106.420]	36.577

*NR : No Response Strategy, M1~M6 : Mitigation Strategy

5.3 일정위험 평가 결과

<Figure 3>과 같이 일정 네트워크에 위험요소, 예외상황 및 대처방안을 통합한 후, 베이지안 네트워크 기반의 일정 네트워크를 평가하면 <Table 9>와 같은 결과를 도출할 수 있다. 표에는 위험요소 및 대처방안, 기대시간, 90% 신뢰 구간, 일정지연 영향의 크기가 수록되어있다. <Table 9>에서 리스크 및 대처방안을 적용했을 때의 기대완료시간은 S사의 프로젝트 수행 결과와 거의 일치하였다. 따라서 수주를 위한 제안서를 작성하거나 프로젝트를 진행할 때 위험요소 및 예외상황을 분석, 대처방안을 수립하고 일정 네트워크에 통합한 후 일정위험 예측 및 일정평가를 실시하여 좀 더 현실적인 프로젝트 완료일을 예측하여야 한다.

6. 결론 및 추후연구

본 연구에서는 해외 플랜트 EPC 프로젝트에서 발생할 수 있는 예외상황에 대처할 수 있도록 민감도 분석 및 베이지안 네트워크 기반으로 예외상황을 고려한 일정위험 예측 및 일정평가 방법론을 제시 하였다. 첫째, 해외 EPC 프로젝트 과정에서 발생할 수 있는 위험요인 및 위험요인에 관련된 예외상황들을 문헌조사 및 전문가 인터뷰를 통해 도출하였다. 둘째, 베이지안 네트워크 기반으로 위험요인에 의해 초래되는 예외상황이 일정에 미치는 영향을 평가할 수 있는 방법론을 제시하였다. 또한 각 예외사항에 대한 대처방안을 수립하고 이를 평가모델에 적용하여 프로젝트 일정모델을 평가하는 방안을 제안하였다. 셋째, 제안하는 방법론의 해외 EPC 프로젝트 사례 적용을 통해 방법론의 적용가능성을 검증 하였다. 본 연구의 결과는 프로젝트 관리에서의 예외상황 관리에 적용하기 위해 확장될 수 있을 것으로 기대한다.

추후연구과제로는 해외 플랜트 EPC 프로젝트를 포함하여 프로젝트를 구성하는 활동, 예외상황의 영향력 및 대처방안의 효과에 대한 발생확률분포의 도출이 필요하다. 본 연구에서는 해외 플랜트에서의 프로젝트 수행결과에 대한 자료들이 확률분포를 도출할 수 있을 만큼 충분하게 기업에서 실질적으로 관리되고 있지 않았기 때문에 현장전문가의 인터뷰를 통해서 실제와 유사한 분포정보를 이용해서 활용하였지만 보다 수월한 연구를 위해서는 이들에 대한 분포를 도출 및 제공하는 연구가 필요하다.

Acknowledgement

This research is financially supported by Changwon National University in 2015~2016.

References

[1] AgenaRisk, Bayesian Network and Simulation Software Tool, http://www.agena.co.uk.

[2] Arditi, D. and Gutierrez, A.E., Factors affecting U.S. contractors performance overseas, *Journal of Construction Engineering and Management*, 1991, Vol. 117, No. 1, pp. 27-46.

[3] Bayes, T., An Essay Towards Solving a Problem in the Doctrine of Chances, *Philosophical Transaction of the Royal Society of London*, 1763, Vol. 53, pp. 370-418.

[4] Bing, L. and Tiong, L.K., Risk management model for international construction joint ventures, *Journal of Construction Engineering and Management*, 1999, Vol. 125, No. 5, pp. 337-384.

[5] Cook, M.S., *Real-World Monte Carlo Analysis*, Proceeding of PMI Annual Seminars and Symposium, Nashville, 2001.

[6] Han, S.H. and Diekmann, J.E., Approaches for making risk-based Go/No-Go decision for international projects, *Journal of Construction Engineering and Management*, 2001, Vol. 127, No. 4, pp. 300-308.

[7] Han, S.H., Kim, D.Y., Kim, H., and Jang, W-S., A web-based integrated system for international project risk management, *Automation in Construction*, 2008, Vol. 17, No. 3, pp. 342-356.

[8] Jensen, F.V., Bayesian Networks and Decision Graphs, New York, United States., Springer-Verlag, 2001.

[9] Jung, H.S., Lee, D.W., and Lee, M.K., A case study of Six Sigma Project for Reducing the Project Costs through Project Risk Management, *Journal of the Korean Society for Quality Management*, 2005, Vol. 33, No. 3, pp. 135-148.

[10] Kerur, S. and Marshall, W., *Identifying and managing risk in international construction projects*, International Review of Law, 2012.

[11] Kuchta, D., Use of Fuzzy Numbers in Project Risk (Criticality) Assessment, *International Journal of Project Management*, 2001, Vol. 19, No. 5, pp. 305-310.

[12] Luu, V.T., Kim, S.Y., Tuan, N.V., and Ogunlana, S.O., Quantifying Schedule Risk in Construction Projects Using Bayesian Belief Networks, *International Journal of Project Management*, 2009, Vol. 27, No. 1, pp. 39-50.

[13] Monga, A., 5 Common Reasons for Shipping Delays from China 10 Causes of Shipping Delays from China -Part 1 and Part 2, The Sourcing Blog, http://www.thesourcingblog.com/10-causes-of-shipping-delays-from-china/Accessed November 2016.

[14] Odeh, A.M. and Battaineh, U.T., Causes of construction delay : traditional contracts, *International Journal of Project Management*, 2002, Vol. 20, No. 2, pp. 67-73.

[15] PMI, A Guide to the Project Management Body of Knowledge, 5th Ed., Project Management Institute, 14 Campus Blvd., Newtown Square, PA 19073-3299, USA, 2013, pp. 309-354.

[16] Purtell, M.I., Problems in administering overseas projects, Issues in Engineering, *Journal of Professional Activities*, 1982, Vol. 108, No. 2, pp. 140-144.

[17] Sung, H. and Park, C., Project Schedule Risk Assessment Based on Bayesian Nets, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2016, Vol. 39, No. 1, pp. 9-16.

[18] Van Dorp, J.R. and Duffey, M.R., Statistical Dependence in Risk Analysis for Project Networks Using Monte Carlo Methods, *International Journal of Production Economics*, 1999, Vol. 58, No. 1, pp. 17-29.

[19] Ward, S.C. and Chapman, C.B., Risk-management perspective on the project lifecycle, *International Journal of Project Management*, 1995, Vol. 13, No. 3, pp. 145-149.

[20] Williams, T., Why Monte Carlo Simulations of Project Networks Can Mislead, *Project Management Journal*, 2004, Vol. 35, No. 3, pp. 53-61.

[21] Yang, H., Analysis of Weights Given Observations in the Bayeian Reliability Prediction, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 1999, Vol. 22, No. 51, pp. 53-61.

ORCID

Hongsuk Sung | http://orcid.org/0000-0002-9795-1384
Jong-yun Jung | http://orcid.org/0000-0003-2621-4229
Chulsoon Park | http://orcid.org/0000-0003-3147-7613