

정성적 위험분석 단계에서 중간위험 집중형 위험도 산정 방법

김선규*

*강원대학교 건축공학과

Risk Value Calculation Method for Moderate Risk Concentration Type at Qualitative Risk Analysis Phase

Kim, Seon-Gyoo*

*Department of Architectural Engineering, Kangwon National University

Abstract : The risk analysis phase of construction risk management process is subdivided into the qualitative risk analysis that plays a major role, and the quantitative risk analysis acting as a supportive role. The traditional calculation method for quantifying a risk value that has been applied so far is an equation to multiply a probability by an impact simply, but its result shows the low risk value biased distribution. Although another equation that shows the high risk biased distribution as an alternative of traditional method was proposed, both of the low or high risk biased equations do not match with the statistical general knowledge that most natural phenomenon are close to the normal distribution. This study proposes a new risk value calculation method that is concentrated to the moderate risk value. Because the risk value distribution by a new method shows a normal shape similar to natural phenomenon, it helps to choose a middle level not biased to the low or high levels when choosing the level of risk response. Furthermore, it could contribute to improve the flexibility and rationality of risk analysis method by providing additional options for the risk value calculation.

Keywords : Risk Management Process, Qualitative Risk Analysis, Risk Value, Risk Contour

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

변화는 건설사업의 본질이다. 지난 수년 동안 건설산업은 공기, 비용, 품질의 목표를 달성하는데 실패하면서 변화의 역효과에 대처하는데 매우 취약하다는 불명예를 얻어왔다. 변화에 성공적으로 대처하기 위하여 체계적인 접근방법이 필요한데 그것은 위험의 원천을 인지하고(위험인지단계), 그 효과를 정량화시켜(위험분석단계), 대응전략을 수립하고(위험대응단계), 최종적으로 잔여위험이 얼마인지 파악하는 것이다 (Smith 1999).

건설위험관리 프로세스(process)의 위험분석단계는 정성적 (qualitative)과 정량적(quantitative) 위험분석단계로 세

분화되는데, 정성적 위험분석이 주된 역할을 하고 정량적 위험분석은 보조적인 역할을 담당한다. 정성적 위험분석단계에 적용하는 일반적인 위험도 산정공식은 경제적인 관점에서 기대값(expected value, EV)을 산정하는 방식과 동일하다. 즉 특정 사안이 발생할 확률과 그 사안으로 인해 발생 가능한 이익 또는 손실을 단순히 곱하는 공식이다. 이러한 방식은 지금까지 산업 전반에 걸쳐 가장 보편적이며 합리적인 것으로 받아들여져 왔기 때문에, 위험분석단계에서 위험도의 크기를 해당 위험이 발생할 확률과 그로 인한 영향도의 곱으로 산정하는 것은 당연히 자연스럽고 타당한 것으로 받아들여져 왔다. 그러나 위험도의 크기를 단순히 발생확률과 영향도의 곱으로 판단할 경우, 위험도의 분포가 고위험도는 매우 적은 범위를 점유하는 반면 저위험도는 많은 범위를 점유하는 저위험도에 편중하는 현상을 나타낸다. 이러한 저위험도 편중현상은 대부분의 위험도를 낮게 평가함으로써 자칫 위험에 대한 대응을 소극적이도록 할 가능성이 잠재한다.

이러한 기존 위험도 산정방법에 대한 대안으로 Dele Cooper et al.(2004)은 발생확률과 영향도의 합에서 발생확률과 영향도의 곱을 공제하는 새로운 위험도 산정방법을 제

* Corresponding author: Kim, Seon-Gyoo, Department of Architectural Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 201-700, Korea
E-mail: sgl208@kangwon.ac.kr
Received November 28, 2014; revised January 16, 2015
accepted January 28, 2015

안하였다. 이렇게 산정된 위험도의 분포는 전통적인 위험도 산정방법과는 달리 고위험도는 매우 많은 범위를 점유하는 대신 저위험도는 매우 적은 범위를 점유하는 고위험도 편중하는 현상을 나타낸다. 물론 Dele의 제안은 지금까지 보편적으로 받아들여지는 기존의 기대값 산정방법 관점에서 보면 논리적이지 않거나 합리적이지 못한 방법이라 생각할 수 있다. 그러나 위험에 적극적으로 대응하려는 관점에서 보면 위험도 산정의 새로운 접근방법이라 평가할 수 있을 것이다.

하지만 위험도 분포가 저위험도 또는 고위험도에 편중하게 될 경우, 대부분의 자연현상이 정상분포에 가깝다는 통계학적인 일반논리에 부합되지 않는다. 물론 위험도의 분포가 반드시 정상분포가 되어야 한다는 당위성은 없다. 그럼에도 불구하고 위험도 분포가 중간위험도에 집중되는 정상분포를 이루는 새로운 위험도 산정방법은 모색될 필요가 있다.

본 연구에서는 위험도의 분포가 중앙에 집중되는 새로운 위험도 산정방법을 제안하고자 한다. 이를 통해 위험도 분포가 자연현상의 정상분포와 유사한 형식으로 표현됨으로써 위험에 대응하는 수준이 고위험도 또는 저위험도에 치우치지 않고 중간위험도에서 합리적으로 선택될 수 있게 하고자 한다. 나아가 위험도 산정방법에 대한 추가적인 선택사항을 제공함으로써 위험분석 방법의 융통성과 합리성을 향상시키는 데도 일조하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 다음과 같은 방법과 순서로 진행하였다.

첫째, 지금까지 제안된 대표적인 정성적 위험도 산정방법들에 대해 고찰하고, 이들의 제한사항과 한계점들을 분석한다.

둘째, 중간위험에 집중하는 분포 형식을 나타내는 위험도 산정방법에 대한 필요성을 제시한다.

셋째, 중간위험 집중형 위험도 산정 방법을 제안한다.

넷째, 기존 위험도 산정방법과 중간위험 집중형 위험도 산정방법을 실제 사례를 통해 비교 및 검증한다.

본 연구의 범위는 건설위험관리 프로세스의 정성적 위험분석단계의 위험도 산정방법으로 제한한다.

2. 위험분석 및 위험도 산정 방법 고찰

2.1 위험분석 개요

건설위험관리 프로세스에서 위험분석단계의 목적은 어떤 위험요인에 대응해야 할지 여부를 판단하기 위한 것으로서, 첫째 위험요인별 확률과 영향을 객관적으로 평가한 뒤, 둘째 대응해야 할 것으로 판단되는 최고 또는 중요한 짧은 위험 목록을 작성하고, 셋째 대응을 실행할지 여부를 결정하는 것이다(Mulcahy 2003).

위험분석단계는 위험인지단계에서 인지된 위험요인이 사업에 어떠한 영향을 줄 것인지 평가하기 위하여 인지된 위험의 발생확률과 위험으로 인한 영향의 정도를 분석하여 위험의 크기 또는 위험의 정도를 수량화하는 단계이다. 위험분석단계에서 위험도를 수량화하기 위해 적용되는 기법은 위험분석을 위한 객관적인 자료의 확보 및 위험요인의 반복성 여부에 따라 크게 정성적 방법과 정량적 방법으로 구분된다. 정성적 방법은 위험분석을 위한 객관적 자료가 충분하지 못하고 위험요인이 비반복적 특성을 가진 경우 위험평가그룹이 등급으로 위험도를 측정하는 방법이며, 정량적 방법은 위험분석을 위한 객관적 자료가 충분하고 위험요인이 반복적 특성을 가진 경우 통계확률분석기법을 통해 위험도를 측정하는 방법이다. 일반적으로 건설사업은 제조업과 달리 비반복적 특성을 가지고 있어, 대부분의 위험분석은 정성적 방법을 적용하고 특수한 경우에 한해 정량적 방법을 적용하고 있다(Edwards 1995, Kim 2010).

2.2 위험도 산정 공식

위험분석단계에서 도출되는 위험의 크기를 위험도(Risk Value, RV)라 정의하고, 위험도(RV)는 위험발생확률(Risk Probability, P)과 위험으로 인한 영향의 정도(Impact, C)의 함수로 식(1)과 같이 정의한다.

$$RV = f(P, C) \quad (1)$$

현재까지 식(1)을 적용하여 위험도를 계산하는 방법으로 크게 두 종류의 위험도 산정식이 제안되었다. 그 중 첫 번째는 위험관리기법이 처음으로 소개된 시점부터 현재까지 가장 일반적이며 광범위하게 적용되는 방법으로서 위험요인의 발생확률과 영향도를 단순히 곱하여 위험도를 계산하는 산정식인데, 이렇게 산정된 위험도 분포는 위험도가 저위험에 편중되는 특징을 나타낸다. 두 번째는 위험요인의 발생확률과 영향도를 더한 후 그들을 곱한 값을 공제하는 산정식인데, 이렇게 계산된 위험도 분포는 첫 번째 방법과는 반대로 위험도가 고위험에 편중되는 특징을 나타내고 있다.

2.2.1 저위험 편중형 위험도 산정방법

첫 번째 방법은 위험도를 산정하는 가장 일반적인 방법으로서, 위험요인 i 의 발생확률(P_i)과 영향도(C_i)를 단순히 곱하여 위험도(RV_i)를 계산하는 식(2)와 같다.

$$RV_i = P_i \times C_i \quad (2)$$

식(2)에서 발생확률과 영향도의 범위를 0.0으로부터 1.0까지 동일한 척도로 가정하고, 발생확률과 영향도를 각각 0.1씩 증가시키며 산정한 위험도 결과 값들을 2차원의 정사각형에 등고선(contour) 형식으로 표시하면 Fig. 1과 같이 표현된다.

Fig. 1은 발생확률 1.0과 영향도 1.0인 우측 상단 꼭지점의 위험도가 최정상점인 1.0이 되고, 좌측 하단 방향으로 내려오며 발생확률 0.0과 영향도 0.0인 좌측 하단 꼭지점에서 위험도가 최하점인 0.0을 갖는 등고선들을 나타내고 있다. 만약 특정 위험요인이 발생확률은 매우 높은 0.8이고, 영향도는 매우 낮은 0.2라고 가정할 경우, 식(2)로부터 위험도는 0.16으로 계산된다. 이 위험도는 그림 1의 최저 1등급으로부터 최고 10등급으로 구분된 등고선에서 최하위 수준인 2등급에 위치하게 된다. 따라서 식(2)에 의해 위험도를 산정하게 되면 발생확률 또는 영향도 모두 높지 않을 경우 대부분의 위험도는 낮게 평가되는 저위험 편중현상을 보이는데, 이러한 현상을 정확하게 파악하기 위해 등고선별 위험도 면적을 계산하여 비교할 필요가 있다.

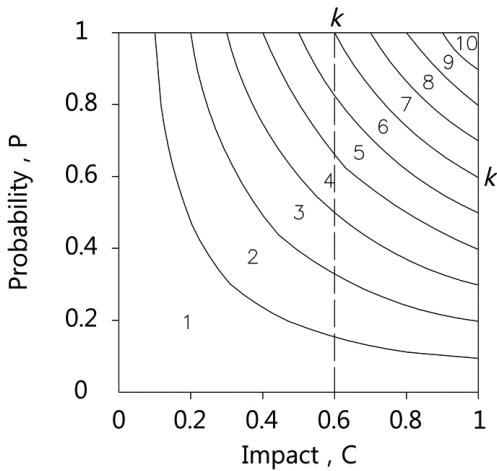


Fig. 1. Contour of $RV_i = P_i \times C_i$

등고선별 위험도 면적을 계산하기 위해 Fig. 1에서 k 를 임의의 등고선이라 가정하면 식(3)과 정의할 수 있으며, 이를 영향도로 치환시키면 식(4)와 같다.

$$k = P \times C \quad (0 < k \leq 1) \tag{3}$$

$$C = \frac{k}{P} \quad (0 < k \leq 1) \tag{4}$$

Fig. 1의 k 지점에서 1.0지점까지 식(4)를 적분하는 계산식은 식(5)와 같다.

$$\int_k^1 \frac{k}{P} dP = k [\ln P]_{P=k}^{P=1} = -k \ln k \tag{5}$$

그리고 Fig. 1의 k 지점에서 1.0지점까지의 직사각형 면적은 식(6)과 같으므로, 등고선 k 를 기준한 면적(S_k)은 식(6)에서 식(5)을 공제하는 식(7)과 같이 정리된다.

$$(1 - k) \times 1 \tag{6}$$

$$S_k = (1 - k) \times 1 - (-k \ln k) = k \ln k - k + 1 \tag{7}$$

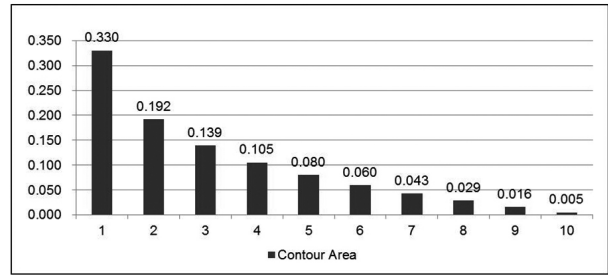


Fig. 2. Contour Areas of $RV_i = P_i \times C_i$

식(7)에서 k 값을 0.1씩 증가시키며 최저 1등급에서 최고 10등급까지의 등고선별 위험도 면적을 계산한 후, 각각의 면적들에서 이전에 계산된 면적들을 공제하면 등고선별 위험도 개별 면적들이 계산되는데 이들을 막대그래프 형식으로 표시하면 Fig. 2와 같이 표현된다.

Fig. 2는 등급별 위험도 개별 면적들이 최저 수준인 1등급 33%로부터 최고 수준인 10등급 0.5%까지 점차적으로 감소하는 추세를 보여주고 있다. 이러한 결과로부터 위험도 산정식(2)는 낮은 위험도에 집중 분포되는 저위험 편중형 위험도 산정 방법임을 확인할 수 있다.

2.2.2 고위험 편중형 위험도 산정방법

두 번째 방법은 식(2)의 저위험 편중 현상을 보완하기 위하여 제안된 방법(Dele Cooper et al, 2004)으로서, 위험요인 i 의 발생확률(P_i)과 영향도(C_i)를 단순히 더한 다음 그 발생확률과 영향도의 곱을 공제하여 위험도(RV_i)를 계산하는 식(8)과 같다.

$$RV_i = P_i + C_i - (P_i \times C_i) \tag{8}$$

식(2)에서 발생확률과 영향도의 범위를 0.0으로 부터 1.0까지 동일한 척도로 가정하고, 발생확률과 영향도를 각각 0.1씩 증가시키며 산정한 위험도 결과 값들을 2차원의 정사각형에 등고선(contour) 형식으로 표시하면 Fig. 3과 같이 표현된다.

Fig. 3은 발생확률 1.0과 영향도 1.0인 우측 상단 꼭지점의 위험도가 최정상점인 1.0이 되고, 좌측 하단 방향으로 내려오며 발생확률 0.0과 영향도 0.0인 좌측 하단 꼭지점에서 위험도가 최하점인 0.0을 갖는 등고선들을 나타내고 있다. 만약 특정 위험요인이 발생확률은 매우 높은 0.8이고, 영향도는 매우 낮은 0.2라고 가정할 경우, 식(8)로부터 위험도는 0.84로 계산된다. 이 위험도는 Fig. 3의 최저 1등급으로부터 최고 10등급으로 구분된 등고선에서 최하위 수준인 9등급에 위치하게 된다. 따라서 식(8)에 의해 위험도를 산정하게 되면 발

생확률 또는 영향도중 하나만 높을 경우에도 대부분의 위험도는 높게 평가되는 고위험 편중현상을 보이는데, 이러한 현상을 정확하게 파악하기 위해 등고선별 위험도 면적을 계산하여 비교할 필요가 있다.

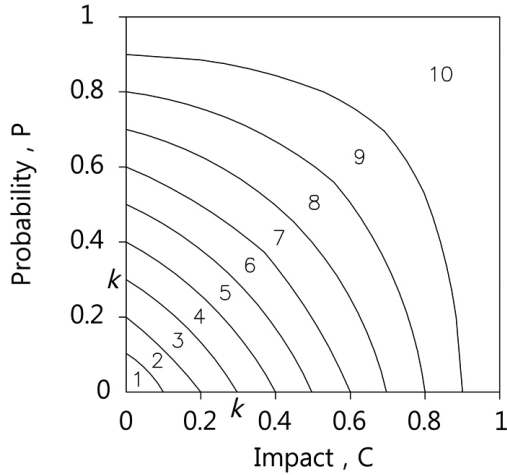


Fig. 3. Contour of $RV_i = P_i + C_i - (P_i \times C_i)$

등고선별 위험도 면적을 계산하기 위해 Fig. 3에서 k 를 임의의 등고선이라 가정하면 식(9)와 같이 정의할 수 있으며, 이를 영향도로 치환시키면 식(10)과 같다.

$$k = P + C - PC \quad (0 < k \leq 1) \tag{9}$$

$$C = \frac{k - P}{1 - P} = 1 + \frac{k - 1}{1 - P} \quad (0 < k \leq 1) \tag{10}$$

Fig. 3의 0,0지점에서 k 지점까지 등고선별 면적(S_k)은 식(10)을 적분하면 되므로 이를 계산하는 식(11)은 다음과 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} S_k &= \int_0^k \left(1 + \frac{k-1}{1-P}\right) dP = [P - (k-1)\ln(1-P)] \Big|_{P=0}^{P=k} \\ &= [P + (1-k)\ln(1-P)] \Big|_{P=0}^{P=k} \\ &= k + (1-k)\ln(1-k) \end{aligned} \tag{11}$$

식(11)에서 k 값을 0.1씩 증가시키며 최저 1등급에서 최고 10등급까지의 등고선별 위험도 면적을 계산한 후, 각각의 면적들에서 이전에 계산된 면적들을 공제하면 등고선별 위험도 개별 면적들이 계산되는데 이들을 막대그래프 형식으로 표시하면 Fig. 4와 같이 표현된다.

Fig. 4는 등급별 위험도 개별 면적이 최저 수준인 1등급 0.5%로부터 최고 수준인 10등급 33%까지 점차적으로 증가하는 추세를 보여주고 있다. 이러한 결과로부터 위험도 산정식(8)은 위험도 산정식(2)와 반대로 높은 위험도에 집중 분포되는 고위험 편중형 위험도 산정 방법임을 확인할 수 있다.

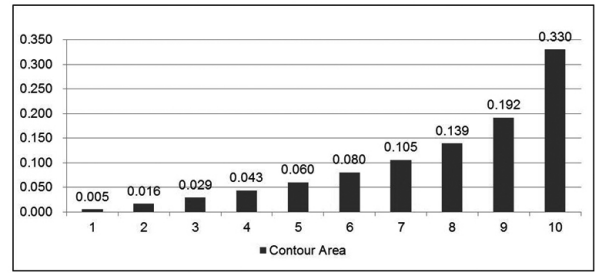


Fig. 4. Contour Areas of $RV_i = P_i + C_i - (P_i \times C_i)$

3. 중간위험 집중형 위험도 산정 방법

3.1 새로운 위험도 산정 방법 필요성

기존 위험도 산정방법에 의한 결과 값들은 저위험도 또는 고위험도에 편중되는 현상을 나타내고 있어 자연현상과는 거리가 먼 분포들을 확인하였다. 일반적으로 자연현상을 가장 근접하게 표현하는 분포는 정규분포(normal distribution)라고 한다(Walpole et al, 1985). 즉 세상의 수많은 현상들은 대부분 정규분포를 따르는데 이는 많은 경영·경제·사회·자연현상들이 정규분포 형태를 띠고 있기 때문이다(Park 2003). 물론 세상의 모든 현상들을 정규분포만으로 표현할 수 없으며 한쪽으로 편중되는 분포로 설명되는 경우도 존재할 것이다. 그럼에도 불구하고 기존의 위험도 산정방법에 의한 결과 값들은 너무나 한쪽으로 편중되고 있어 위험분석 결과에 대한 신뢰성 확보에 문제가 발생할 여지가 많다. 따라서 가장 자연현상에 근접하면서 보편 타당성과 신뢰성을 확보할 수 있도록 위험도 결과 값들이 정규분포 형태를 가지면서 중간수준의 위험도에 집중 분포되는 새로운 위험도 산정방법을 모색할 필요가 있다.

3.2 중앙집중형 위험도 산정 방법(0 < C ≤ 1)

본 논문에서는 위험요인별 영향도의 추정범위가 발생확률의 추정범위와 동일한 0.0으로부터 1.0까지인 경우, 위험도 결과 값들이 정규분포와 유사하게 중앙에 집중되는 경향을 보이는 위험도 산정방법으로, 위험요인 i 의 발생확률(P_i)과 영향도(C_i)를 더한 값을 2로 나누어 위험도(RV_i)를 계산하는 식(12)를 제안한다.

$$RV_i = \frac{P_i + C_i}{2} \tag{12}$$

식(12)에서 발생확률과 영향도를 0.0으로부터 1.0까지 각각 0.1씩 증가시키며 산정한 위험도 결과 값들을 2차원의 정사각형에 등고선(contour) 형식으로 표시하면 Fig. 5와 같이 표현된다.

Fig. 5는 Fig. 1, 3과 같이 발생확률 1.0과 영향도 1.0인 우측 상단 꼭지점의 위험도가 최정상점인 1.0이 되고, 좌측 하

단 방향으로 내려오며 발생확률 0.0과 영향도 0.0인 좌측 하단 꼭지점에서 위험도가 최하점인 0.0을 갖는 등고선들을 나타낸다. 만약 특정 위험요인이 발생확률은 매우 높은 0.8이고, 영향도는 매우 낮은 0.2라고 가정할 경우, 식(12)로부터 위험도는 0.5로 계산된다. 반대로 발생확률이 매우 낮은 0.2이고, 영향도는 매우 높은 0.8이라 가정할 경우 식(12)로부터 위험도는 0.5로 계산된다. 이러한 위험도 값들은 그림 5의 최저 1등급으로부터 최고 10등급으로 구분된 등고선에서 중간 수준인 5등급에 위치하게 되는데, 식(12)에 의해 위험도를 산정하게 되면 발생확률 또는 영향도가 서로 균형을 유지하며 중간 위험도가 높게 평가되는 중간위험 집중현상을 보인다는 것을 알 수 있다. 이러한 중앙집중 현상을 정확하게 파악하기 위해 등고선별 위험도 면적을 계산하여 비교할 필요가 있다.

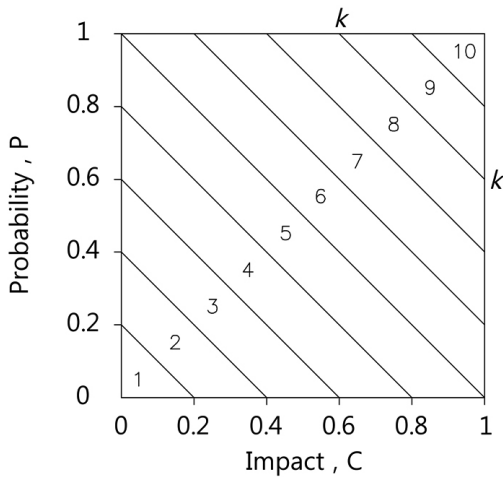


Fig. 5. Contour of $RV_i = \frac{P_i + C_i}{2}$

Fig. 5에서 k 를 임의의 등고선이라 가정할 때 (P, C) 의 좌표가 $(1.0, 0.0)$ 과 $(0.0, 1.0)$ 을 잇는 중앙 등고선을 기준으로 아랫부분과 윗부분의 등고선이 다르게 정의되므로 등고선별 위험도 면적도 다르게 계산해야 한다.

첫 번째는 중앙 등고선을 기준으로 아랫부분의 등고선은 식(13)과 정의할 수 있으며, 이를 영향도로 치환시키면 식(14)와 같다.

$$k = P + C \quad (0 < k \leq 1) \tag{13}$$

$$C = k - P \quad (0 < k \leq 1) \tag{14}$$

따라서 Fig. 5의 중앙 등고선 아랫부분의 삼각형 면적(S_k)은 식(14)을 0.0지점에서 k 지점까지 적분하는 식(15)로 정리된다.

$$S_k = \int_0^k (k - P) dP = \left[kP - \frac{P^2}{2} \right]_{P=0}^{P=k} = \frac{k^2}{2} \quad (0 < k \leq 1) \tag{15}$$

두 번째는 중앙 등고선을 기준으로 윗부분의 등고선은 식(14)에 '1'을 더한 식(16)으로 정의할 수 있으며, Fig. 5의 중앙 윗부분 등고선을 기준한 면적은 식(16)을 k 지점에서 1.0지점까지 적분하는 식(17)로 정리된다.

$$C = (1 + k) - P \quad (0 < k \leq 1)$$

$$\int_k^1 (1 + k - P) dP = \left[(1 + k)P - \frac{P^2}{2} \right]_{P=k}^{P=1} \tag{16}$$

$$= \frac{1 - k^2}{2} \quad (0 < k \leq 1) \tag{17}$$

그리고 Fig. 5의 k 지점에서 1.0지점까지의 직사각형 면적은 식(18)과 같으므로, 중앙 윗부분 등고선 k 를 기준한 삼각형 면적(S_k)은 식(18)에서 식(17)을 공제하는 식(19)와 같이 정리된다.

$$(1 - k) \times 1 \tag{18}$$

$$S_k = (1 - k) \times 1 - \frac{1 - k^2}{2} = \frac{(1 - k)^2}{2} \tag{19}$$

식(15)에서 k 값을 0.0에서 0.2씩 증가시키며 1.0까지 계산한 후, 각각의 면적들에서 이전에 계산된 면적들을 공제하면 1등급에서 5등급까지의 위험도 개별 면적들이 계산되고, 식(19)에서도 k 값을 0.0에서 0.2씩 증가시키며 1.0까지 계산한 후, 각각의 면적들에서 이후에 계산된 면적들을 공제하면 6등급에서 10등급까지의 위험도 개별 면적들이 계산된다. 이렇게 계산된 1등급에서 10등급까지의 위험도 개별 면적들을 막대그래프 형식으로 표시하면 Fig. 6과 같이 표현된다.

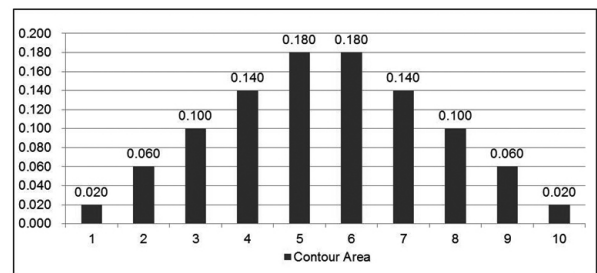


Fig. 6. Contour Areas of $RV_i = \frac{P_i + C_i}{2}$

Fig. 6의 등급별 위험도 개별 면적 분포를 살펴보면, 전체 분포의 중앙인 5, 6등급에서 18%로 최고가 되고, 각각 1등급과 10등급의 2%까지 점차 감소되는 추세를 보여주고 있다. 이러한 결과로부터 위험도 산정식(12)는 높은 위험도가 중앙에 집중 분포되는 중앙집중형 위험도 산정 방법임을 확인할 수 있다. 즉 식(12)에 의한 위험도 결과 값은 기존의 식(2)와 (8)의 결과 값들이 저위험도 또는 고위험도에 편중되어 극단적인 분포를 나타내는 것과는 달리 자연현상에 근접한 정규 분포와 유사하게 중간위험도에 집중적으로 분포되고 있음을

알 수 있다.

3.3 중앙집중형 위험도 산정 공식($0 < C \leq C_{max}$)

위험도 산정식(12)는 영향도가 0.0에서 1.0이라는 제한된 조건에서 중앙에 집중되는 경향을 보이는 위험도 산정방법이다. 그러나 발생확률은 0.0에서 1.0 범위에 제한된다고 하더라도 영향도의 최대 한계값은 1.0으로 제한하지 않는 경우도 많다. 예를들어 Edwards(1995)는 조직에 가해지는 재무적 영향도(financial impact)를 1에서 6등급으로 구분하였고, Muclcahy(2003)는 사업예산의 초과범위를 1에서 10등급으로 구분하고 있으며, 더 나아가 예산의 초과범위를 금액 단위로 등급을 구분하거나, 공기의 초과범위를 지연일수 단위로 등급을 구분하는 경우도 많다. 그런데 영향도의 범위가 1.0을 초과할 경우 식(12)를 적용하여 계산한 위험도 결과 값들은 정상분포 형태가 아니라 균등분포(uniform distribution)와 유사한 형태로 표현된다. 예를 들어 확률의 범위는 0.0에서 1.0이지만 영향도의 범위를 0.0에서 10.0이라 가정하고 식(12)를 적용하면 그 결과 값들은 그림 7과 같은 등고선으로 나타난다.

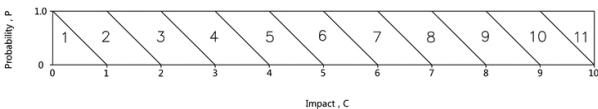


Fig. 7. Contour of $RV_i = \frac{P_i + C_i}{2}$ ($0.0 < C_i \leq 10.0$)

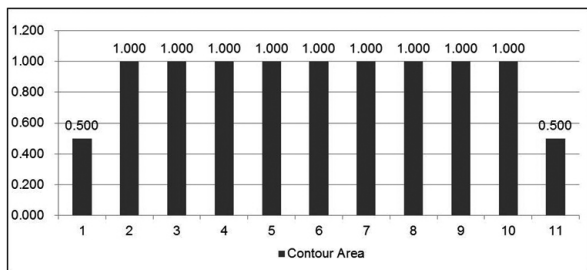


Fig. 8. Contour Areas of $RV_i = \frac{P_i + C_i}{2}$ ($0.0 < C_i \leq 10.0$)

Fig. 7의 등고선에서 1등급과 11등급은 정삼각형 면적, 2등급에서 10등급까지는 평행사변형 면적 산정식에 의해 간단하게 계산되며, 1등급에서 11등급까지의 개별 면적들을 막대그래프 형식으로 표시하면 Fig. 8과 같이 표현된다.

Fig. 8의 등급별 위험도 개별 면적 분포를 살펴보면 전체 분포의 좌·우측인 1등급과 11등급에서 5%로 최저가 되고, 중간의 2등급과 10등급까지는 10%의 균등한 분포를 보여주고 있다. 이러한 분포는 위험도 결과 값들이 확률보다 영향도 크기에 따라 더 큰 영향을 받을 수 있음을 추정할 수 있다. 식(12)에 의한 위험도가 영향도의 크기에 영향을 받는다는 추정을 확인하기 위해 영향도의 범위를 Fig. 7에서 보다 10배 증

가시켜 0.0에서 100.0이라 가정하고 식(12)를 적용하면 그 결과 값들은 Fig. 9와 같은 등고선으로 나타난다.

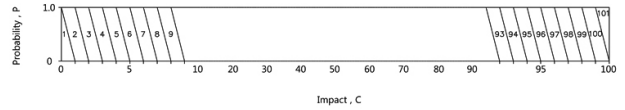


Fig. 9. Contour of $RV_i = \frac{P_i + C_i}{2}$ ($0.0 < C_i \leq 100.0$)

Fig. 9에서 위험도 등고선들이 등급별로 거의 수직으로 표현되고 있어, 위험도 결과 값들이 영향의 크기에 따라 비례적으로 변화되고 있음을 분명하게 확인할 수 있다. 만약 위험도 결과 값이 Fig. 9와 같이 영향의 크기에 따라 비례적으로 변화된다면 새로운 식(12)를 통해 위험도 분포가 자연현상에 가까운 정상분포와 유사한 형태로 표현되도록 한다는 원래의 제안 목적에 부합되지 않게 된다. 따라서 영향의 범위가 1.0 이상으로 확장되더라도 정상분포와 유사한 형태의 위험도 분포를 나타낼 수 있도록 식(12)를 수정할 필요가 있다.

본 논문에서는 위험요인별 발생확률의 추정범위를 0.0에서 1.0까지로 제한하고, 영향도의 추정범위는 0.0에서 영향도의 최대값인 C_{max} 까지로 확장할 경우, 위험도가 정규분포와 유사하게 중앙에 집중되는 경향을 보이는 산정방법으로, 위험요인 i 의 발생확률(P_i)과 영향도 최대값(C_{max})을 곱한 뒤 영향도(C_i)를 더한 값을 2로 나누어 위험도(RV_i)를 계산하는 식(20)을 제안한다.

$$RV_i = \frac{P_i \times C_{max} + C_i}{2} \quad (20)$$

식(20)은 발생확률의 범위를 영향도의 범위와 동일하게 확장시켜 위험도 결과 값들이 Fig. 5와 같은 정사각형에 분포시키도록 한다. 식(20)에서 발생확률을 0.0에서 1.0까지, 영향도를 0.0에서 C_{max} 까지 동일한 비율로 증가시키며 산정한 위험도 결과 값들을 정사각형에 등고선으로 표시하면 Fig. 10과 같이 표현된다.

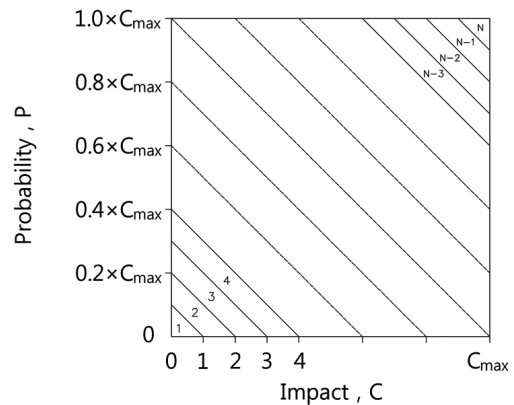


Fig. 10. Contour of $RV_i = \frac{P_i \times C_{max} + C_i}{2}$ ($0.0 < C_i \leq C_{max}$)

Fig. 10에서 등급1로부터 N까지의 등고선은 Fig. 5와 동일하므로 Fig. 10을 기준한 등급별 위험도 면적분포 역시 Fig. 6과 동일하게 중간위험도에 집중적으로 분포되는 형태를 나타내게 된다. 결과적으로 식(12)가 발생확률과 영향의 범위를 0.0에서 1.0로 제한시킨 조건하에서 중앙집중형 위험도를 산정하는 기본식인데 반해, 식(20)은 영향의 범위를 무한정 확장시킬지라도 위험도 결과 값들이 변함없이 중간 위험도에 집중되는 중앙집중형 위험도 산정 일반식임을 확인할 수 있다.

4. 중앙집중형 위험도 산정 공식 검증

정량적 위험분석에 적용되는 기존의 위험도 산정 공식인 식(2)와 식(8) 그리고 본 연구에서 제안한 식(20)을 실제 사례에 적용하여 각 위험도 산정 공식의 결과 값들을 상호 비교함으로써 중앙집중형 위험도 산정 공식을 검증하고자 한다.

본 연구에서는 일반 건축공사에서 자주 발생하는 위험요인 들중 3개를 발췌하여 각각에 대해 두 종류의 등급 범위를 적용한다. 첫 번째는 발생확률과 영향도 등급을 0.0에서 1.0범위까지 동일하게 적용하였을 경우로서 위험도를 산정한 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Comparison of Risk Value Calculation Methods
($0.0 < P_i \leq 1.0, 0.0 < C_i \leq 1.0$)

No.	Risk Event	Prob. (P_i)	Impact (C_i)	Risk Value(RV_i)		
				Eq.(2)	Eq.(8)	Eq.(20)
1	Design Change of Substructure	0.9	0.8	0.72	0.98	0.85
2	Procurement Delay of Curtain Walls	0.4	0.6	0.24	0.76	0.50
3	Quality Deterioration of Cold Weather Concrete	0.2	0.3	0.06	0.44	0.25

Table 1에서 위험요인 1번은 상급 위험요인으로 발생확률이 0.9, 영향도가 0.8로 평가되었을 경우, 식(2)에 의한 위험도는 0.72로서 Fig. 1의 등고선 기준 8등급에 해당하고, 식(8)에 의한 위험도는 0.98로서 Fig. 3의 등고선 기준 10등급에 해당하며, 식(20)에 의한 위험도는 0.85로서 Fig. 5의 등고선 기준 9등급에 해당한다. 위험요인 2번은 중간급 위험요인으로 발생확률이 0.4, 영향도가 0.6으로 평가되었을 경우, 식(2)에 의한 위험도는 0.24로서 Fig. 1의 등고선 기준 3등급에 해당하고, 식(8)에 의한 위험도는 0.76로서 Fig. 3의 등고선 기준 8등급에 해당하며, 식(20)에 의한 위험도는 0.50로서 Fig. 5의 등고선 기준 5등급에 해당한다. 위험요인 3번은 하급 위험요인으로 발생확률이 0.2, 영향도가 0.3으로 평가되었을 경우, 식(2)에 의한 위험도는 0.06로서 Fig. 1의 등고선 기준 1등급에 해당하고, 식(8)에 의한 위험도는 0.44로서

Fig. 3의 등고선 기준 5등급에 해당하며, 식(20)에 의한 위험도는 0.25로서 Fig. 5의 등고선 기준 3등급에 해당한다. 이와 같은 결과로부터 식(2)는 저위험에 편중되는 위험도를 나타내고, 식(8)은 고위험에 편중되는 위험도를 나타내는 반면, 식(20)은 중간위험에 집중되는 위험도를 나타내는 것을 확인할 수 있다.

두 번째는 발생확률 등급은 0.0에서 1.0범위이지만 영향도 등급은 0.0에서 10.0범위까지 확장시켜 적용하였을 경우로서 위험도를 산정한 결과는 Table 2와 같다. 영향도의 등급범위를 첫 번째 경우보다 10배 증가시키면 최고 위험도는 10.0이 되며, 위험등급은 위험도를 0.0에서 10.0까지 1.0단위로 분할할 경우 최저 1등급에서 최고 10등급으로 구분된다.

Table 2. Comparison of Risk Value Calculation Methods
($0.0 < P_i \leq 1.0, 0.0 < C_i \leq 10.0$)

No.	Risk Event	Prob. (P_i)	Impact (C_i)	Risk Value(RV_i)		
				Eq.(2)	Eq.(8)	Eq.(20)
1	Design Change of Substructure	0.9	8	7.2	1.7	8.5
2	Procurement Delay of Curtain Walls	0.4	6	2.4	4.0	5.0
3	Quality Deterioration of Cold Weather Concrete	0.2	3	0.6	2.6	2.5

Table 2에서 위험요인 1번의 경우 식(2)에 의한 위험도는 7.2로서 8등급에 해당하고, 식(8)에 의한 위험도는 1.7로서 2등급에 해당하며, 식(20)에 의한 위험도는 8.5로서 9등급에 해당한다. 위험요인 2번의 경우 식(2)에 의한 위험도는 2.4로서 3등급에 해당하고, 식(8)에 의한 위험도는 4.0으로서 4등급에 해당하며, 식(20)에 의한 위험도는 5.0로서 5등급에 해당한다. 위험요인 3번의 경우 식(2)에 의한 위험도는 0.6로서 1등급에 해당하고, 식(8)에 의한 위험도는 2.6로서 3등급에 해당하며, 식(20)에 의한 위험도는 2.5로서 3등급에 해당한다. 이와 같은 결과로부터 식(2)는 첫 번째 경우와 동일하게 저위험도에 편중되고 있으며, 식(8)은 위험도의 값이 심각하게 왜곡되고 있어 영향도의 범위가 1.0을 초과할 경우 위험도 산정공식으로서 의미를 거의 상실하여 신뢰할 만한 위험도를 계산할 수 없으며, 식(20)은 영향도의 범위가 1.0을 초과하여도 첫 번째 경우와 동일하게 중간위험에 집중되는 현상을 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

5. 결론

전체 위험관리 프로세스에서 위험분석단계는 인지된 위험요인의 크기를 계량화함으로써 위험에 대응할지 여부를 판단하는 매우 중요한 과정으로 정성적 위험분석과 정량적 위험

분석으로 세분화된다. 그중 정성적 위험분석이 핵심이고 정량적 위험분석은 정성적 분석결과를 보조하는 역할을 담당하는데, 이제까지 정성적 위험분석단계에서 위험도를 계량화하는 방법으로 적용되어온 위험도 산정 공식은 발생확률과 영향을 단순히 곱하는 식(2)로서 결과 값들은 저위험도에 편중된 분포를 나타낸다. 이에 대한 대안으로 식(8)이 제안되었고 결과 값들은 식(2)와는 반대로 고위험도에 편중된 분포를 나타낸다. 이러한 편중된 분포들은 대부분의 자연현상이 정상분포에 가깝다는 통계학적인 일반 논리에 부합되지 않으므로 본 논문에서는 정상분포에 가까운 중간위험도에 집중되는 새로운 위험도 산정 방식인 식(20)을 제안하였고 사례를 통해 검증하였다.

그러나 정성적 위험분석단계에서 위험도 산정방식을 기존의 저위험 편중형 또는 고위험 편중형, 아니면 본 논문에서 제안한 중앙집중형 산정 방법중 택일하는 것은 온전히 건설사업 수행주체들이 결정할 사안이다. 다만 각각의 위험도 산정 방식에 의한 위험도 결과 값들이 서로 상이하므로 위험관리 전체 프로세스가 어떤 목표를 이루고자 하는지에 따라 신중하게 선택할 필요가 있다. 특히 위험도 산정 방식이 위험분석단계 이후의 위험관리 프로세스들인 위험대응단계와 위험추적 및 통제 단계에 막대한 영향을 미칠 수 있으므로, 위험관리계획을 수립하는 단계에서 기본적으로 적용되는 위험도 산정 방법뿐만 아니라 필요에 따라 위험의 유형별로 어떤 위험도 산정 방법을 선택할 지도 결정해야 할 것이다.

본 연구는 위험도 산정 결과가 자연현상에 가까운 정상분포 형태를 나타내는 위험도 산정 공식을 제안하는데 초점을 맞추었다. 그러나 본 연구의 결과가 아직 완벽한 정상분포형태가 아니므로 정상분포형태에 더욱 일치되는 새로운 위험도 산정 공식을 찾아가는 추가적인 연구는 계속되어야 할 것이다.

References

- Cooper, D, Grey, S., Raymond, G., and Walker, P. (2004). "Managing Risk in Large Projects and Complex Procurement", *John Wiley & Sons Ltd., England*.
- Edwards, L. (1995). "Practical Risk Management in the Construction Industry", *Thomas Telford, England*.
- Kim, S. G. (2007), "A Development of the Risk Factor Dictionary for the Private Finance Construction Project", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 8(5), pp. 152-160.
- Kim, S. G. (2007), "A Model of the Construction Risk Management System for Site Personnel in the Construction Project", *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, KICEM, 8(4), pp. 90-98.
- Kim, S. G. (2010). "Construction Risk Management", *Kimoon-Dang, Korea*.
- Mulcahy, R. (2003). "Risk Management, Tricks of the Trade for Project Managers", *RMC Publications, Inc, USA*.
- Park, B. S. (2003). "Mathematics Note for Genius", *Hyangyeon, Korea*.
- Smith, N. J. (1999). "Managing Risk in Construction Projects", *Blackwall Science, England*.
- Walpole, R. E., and Myers R. H. (1985). "Probability and Statistics for Engineers and Scientists", *Macmillan Inc., USA*.

요약 : 건설위험관리 프로세스의 위험분석단계는 정성적 및 정량적 위험분석단계로 세분화되는데, 정성적 위험분석이 주된 역할을 하고 정량적 위험분석은 보조적인 역할을 담당한다. 그런데 이제까지 정성적 위험분석단계에서 위험도를 계량화하는 방법으로 적용되어온 위험도 산정 공식은 발생확률과 영향을 단순히 곱하는 식으로서 결과 값들은 저위험도에 편중된 분포를 나타낸다. 이에 대한 대안으로 고위험도에 편중되는 산정 공식이 제안되었으나, 위험도 분포가 저위험도 또는 고위험도에 편중하게 될 경우 대부분의 자연현상이 정상분포에 가깝다는 통계학적인 일반논리에 부합되지 않는다. 본 연구에서는 위험도의 분포가 중앙에 집중되는 새로운 위험도 산정방법을 제안하고자 한다. 이를 통해 위험도 분포가 자연현상의 정상분포와 유사한 형식으로 표현됨으로써 위험에 대응하는 수준이 고위험도 또는 저위험도에 치우치지 않고 중간위험도에서 합리적으로 선택될 수 있게 하고자 한다. 나아가 위험도 산정방법에 대한 추가적인 선택사항을 제공함으로써 위험분석 방법의 융통성과 합리성을 향상시키는데도 일조하고자 한다.

키워드 : 위험관리 프로세스, 정성적 위험분석, 위험도, 위험 등급