

Location Selection of Distribution Centers by Using Grey Relational Analysis

Taehee Woo*[†] · Seung Bach**

*Department of Industrial Systems Management, Seoul University, Seoul, Korea

**College of Business Administration, California State University, Sacramento, USA

GRA를 이용한 물류센터 입지선정문제

우태희*[†] · Seung Bach**

*서일대학교 산업시스템경영과

**College of Business Administration, California State University, Sacramento, USA

Location selection of distribution centers is a crucial task for logistics operators and key decision makers of an organization. This is a multi-criteria decision making (MCDM) process which includes both quantitative and qualitative criteria. In order to propose an optimized location selection model, this research suggests a hierarchical group of evaluation criteria : 5 major criteria with 15 sub-criteria. The MCDM approach presented in this research, by integrating Grey Relational Analysis (GRA) with Analytic Hierarchy Process (AHP), tends to rectify the overall quality and uncertainty of the values of evaluation criteria. An example of a location selection case in Korea is illustrated in this study to show the effectiveness of this method.

Keywords : GRA, AHP, MCDM(Multi-Criteria Decision Making), Location selection, Distribution Center

1. 서론

물류센터는 고객의 주문에 대한 서비스를 제공하기 위하여 재고를 보관하면서 하역과 보관, 출고 및 수송의 기능을 수행하는 시설로서 공급망관리(SCM) 관점에서 핵심적인 역할을 수행하고 있다. 물류센터는 제조업자, 수출입업자, 유통사업자 등에 의하여 이용되며, 물류센터 입지 선정에 대한 의사결정은 기업경영에 커다란 영향을 준다.

전통적으로 물류센터 입지 선정 문제는 비용 최소화 접근 방법이나 이익 최대화 접근 방법으로 주로 정량적인 평가로 대안을 제시하고 있다. 그러나 물류센터 입지

선정시 정량적과 정성적 기준을 갖는 다기준 의사결정(multi-criteria decision making; MCDM) 문제가 많으며, 지금까지 많은 연구가 수행되어 왔다.

Partovi(2006)는 외부와 내부 기준의 경쟁적 우위를 구하기 위하여 QFD(quality function deployment), AHP(analytic hierarchy process)와 ANP(analytic network process)를 이용한 입지 선정 의사결정 모형을 제안하였다. 또한 정성적 기준의 모호성을 해결하기 위하여 Fuzzy 이론을 접목한 연구가 있다[1, 2, 19].

어떤 시스템의 관련된 정보를 완전히 알고 있는 상태를 'white', 전혀 알지 못하는 상태를 'black'이라 한다면, 'grey'는 불충분하고 제한된 정보를 알고 있는 상태를 의미한다. 따라서 'grey'는 빈약하고, 불완전하며 불확실한 정보를 갖는 원시데이터 상태를 의미하며, 이들 데이터 사이의 정보의 불완전한 관계를 그레이 관계(grey relation)라고 한다[16].

그레이 시스템 이론은 Deng[6]에 의해 제안된 이후 많은 분야에서 활용되고 있는데, 이는 빈약하고 불확실한 정보를 다루는데 유용하기 때문이다. 또한, 다기준 의사결정 문제를 그레이 관계분석(grey relational analysis, GRA)과정을 통하여 모든 대안을 하나의 값으로 나타내어 쉽게 비교 평가할 수 있다. Tseng[17]은 불완전하고 불확실한 정보를 갖는 경우 GRA가 계층분석과정(AHP)이나 우열 순위법(superiority and inferiority ranking, SIR)보다 유용하다고 하였으며, Lin and Wu[13]은 금융위기 예측시 로지스틱 회귀분석(logistic regression) 등 전통적인 방법보다 GRA가 더 정확한 예측이 이루어짐을 보여 주고 있다.

GRA는 MCDM 문제를 해결하는 가장 실용적인 분석 도구의 하나로 주요 기존 연구를 보면 직접회로(IC)의 수요예측 연구[9], 시계열 예측 연구[10], AHP와 결합하여 자산관리 은행의 선호도 평가 연구[20], 공급자 선정 문제 [2], 정보시스템 보안 평가 문제[16], Taguchi method와 결합하여 품질 개선 문제[18], 박막 스퍼터링(thin-film sputtering)공정의 최적화 문제[5], 와이어 방전 가공(wire electro discharge machining)의 최적 공정변수 선정 문제[4, 8]가 있다. 또한 TOPSIS(Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution)와 결합하여 네트워크 시스템의 평가[21], VIKOR와 결합하여 퍼지환경하에서의 공항의 서비스품질 평가[11] 등의 연구가 있다.

그러나 현재까지 GRA를 활용한 물류센터 입지선정 문제에 대한 기존 연구는 없기 때문에, 본 연구에서는 불완전하고 불확실한 정보를 갖는 경우 물류센터 입지 선정 의사결정 모형을 구축하기 위하여 AHP와 GRA를 결합한 모형을 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 제 2장에서 AHP를 이용한 가중치 결정 절차와 GRA의 기본 개념과 문제해결 절차에 대하여 설명하고, 제 3장에서는 AHP와 GRA를 결합하여 복수의 물류센터 선정을 위한 MCDM 모형을 제시한다. 또한 물류센터 입지 선정을 위한 평가 기준을 제시한다. 제 4장에서 다기준일 경우 여러 대안을 비교하는데 도움을 주는 문제를 사례로 제시하여 GRA가 MCDM 문제에 적합하다는 것을 보여준다. 마지막으로 제 5장에서 본 연구의 결론을 제시한다.

2. AHP를 이용한 GRA

2.1 AHP를 이용한 가중치 결정

1970년대 Thomas Saaty[15]에 의해 개발된 AHP는 의사결정에 관련된 요인을 계층 구조로 나타내어 서로 목

적이 상충되는 대안이나 척도가 다른 요인에 대하여 비교 가능하며, 계량화가 어려운 정성적 판단 요소에도 사용할 수 있다. AHP를 이용하면 의사결정의 일관성을 측정할 수 있고, 이들을 판단하는 과정에서 분석적 절차와 측정척도를 사용할 수 있다[7]. 이러한 이유로 AHP는 여러 형태의 의사결정이나 실무에 폭넓게 사용되고 있으며, AHP를 이용한 문제 해결 절차는 다음과 같다.

n개의 평가 항목(또는 기준) C_1, \dots, C_n 이 있고 최초 평가값을 w_1, \dots, w_n 이라 하면, 항목 C_i 와 C_j 의 쌍비교(pairwise comparison) 값은 $a_{ij} = w_i/w_j$ 가 된다. 따라서 쌍비교 행렬 $A = [a_{ij}]$ 는 식 (1)과 같이 되며, 여기에 가중치 벡터를 곱하면 식 (2)와 같이 된다.

식 (2)로부터 가중치 벡터는 A의 고유벡터(eigenvector)가 되며, n은 고유치(eigenvalue)가 된다.

$$A = \begin{bmatrix} w_1 & \dots & w_1 \\ w_1 & \dots & w_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n & \dots & w_n \\ w_1 & \dots & w_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} w_1 & \dots & w_1 \\ w_1 & \dots & w_n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_n & \dots & w_n \\ w_1 & \dots & w_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 쌍비교 행렬 A의 최대 고유치를 λ_{\max} , 고유벡터를 v 라 하면 고유치와 고유벡터 관계에 따라 식 (3)이 성립한다.

$$Av = \lambda_{\max}v \quad (3)$$

쌍비교 행렬 A의 일관성을 검증하기 위하여 식 (4)와 같이 일관성 지수(consistency index : CI)를 이용하는데 행렬 A가 완전한 일치성을 갖는다면 CI는 0이 되며, 이 값이 커질수록 불일치성이 커지게 되어 쌍비교를 다시 검토하여야 한다. CI값은 0.1 이하인 경우 평가에 일관성이 있음을 나타낸다.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

본 논문에서는 Expert Choice 11을 이용하여 가중치 및 CI를 계산하며, Expert Choice에서는 CI대신에 비일관성(inconsistency)을 사용하는데 동일한 의미이다.

2.2 GRA 절차

GRA는 그레이 시스템 이론의 일부로서 다요인과 변량 사이의 복잡한 내부상관관계를 파악하는데 적합하며, 그레이 관계등급(grey relational grades)의 최적화를 통하여 복수의 성과 특성치 사이의 복잡한 내부상관관계를 해결하는데 효과적으로 사용할 수 있다. 이를 위해 그레이 관계형성(grey relational generating)을 이용하고, 불확실한 시스템적 문제를 해결하기 위하여 그레이 관계계수(grey relational coefficient)를 계산한다. 그레이 관계계수는 실제 결과 사이의 관계를 설명할 수 있다. 그레이 관계등급은 동시에 계산되며, 후보 대안의 등급화와 최적 대안 선정에 사용된다[2].

GRA의 주요 절차는 먼저 모든 대안들의 성과(performance)를 비교배열(comparability sequence)로 변환하는 것이다. 이 단계를 그레이 관계형성이라 한다. 이 배열에 따라 이상적인 목표 배열인 참조배열(reference sequence)이 설정된다. 모든 비교배열과 참조배열 사이의 그레이 관계계수를 계산하며, 마지막으로 그레이 관계계수를 근거로 참조배열과 모든 비교배열 사이의 그레이 관계등급을 계산한다. 만일 비교배열이 가장 높은 그레이 관계등급을 가진 대안으로 변환된다면, 그 대안이 최적의 선택이 될 것이다. 본 연구에서는 Kuo et al.[12]가 제시한 절차를 중심으로 설명하며, 주요내용은 다음과 같다.

Step 1 : 그레이 관계형성(정규화)

Huang and Liao[8]에 의하면 측정된 성과 척도 또는 단위(performance units)가 기준마다 서로 다른 경우 기준의 영향은 무시될 수 있으며, 어떤 기준 성과가 매우 큰 범위 값을 갖는 경우에도 무시될 수 있다. 따라서 이들 기준들의 목표나 척도가 다르다면 부정확한 분석을 야기할 수 있다.

선정 기준의 척도가 다른 경우, 각 대안에 대한 모든 성과값을 정규화(normalization), 즉 그레이 관계형성 또는 데이터 사전 과정이라는 비교배열(comparability sequence)로 나타내어야 한다. m 개의 대안과 n 개의 기준(또는 속성)을 갖는 경우, i 번째 대안은 $Y_i = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ij}, \dots, y_{in})$ 로 나타낼 수 있다. 여기서 y_{ij} 는 대안 i 의 기준 j 의 성과값이다. Y_i 는 식 (5)~식 (7)을 이용하여 비교배열 $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{in})$ 로 변환할 수 있다.

$$x_{ij} = \frac{y_{ij} - \text{Min}\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}}{\text{Max}\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\} - \text{Min}\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}} \quad (5)$$

for $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$

$$x_{ij} = \frac{\text{Max}\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\} - y_{ij}}{\text{Max}\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\} - \text{Min}\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}} \quad (6)$$

for $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$

$$x_{ij} = \frac{|y_{ij} - y_j^*|}{\text{Max}\{\text{Max}y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\} - y_j^*, y_j^* - \text{Min}\{y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}} \quad (7)$$

for $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$

식 (5)는 망대특성(the larger the better attribute), 식 (6)은 망소특성(the smaller the better attribute) 그리고 식 (7)은 망목특성(the nominal the best)으로 y_j^* 는 목표값(the objective value)을 나타낸다.

Step 2 : 참조배열 정의

식 (5)~식 (7)을 이용하여 그레이 관계형성 후에 모든 성과값의 범위는 0부터 1사이의 값이 된다. 대안 i 의 기준 j 에서, 그레이 관계형성에 의하여 정규화된 x_{ij} 값은 1이 되든지 또는 다른 대안의 값보다 1에 더 가까워진다면, 이는 i 번째 대안의 성과는 기준 j 에 최적을 의미한다. 그렇기 때문에 성과값 모두가 1이나 1에 근접한다면, 그 대안이 최적으로 선택될 것이다. GRA에서는 참조배열을 $X_0 = (x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0i}, \dots, x_{0n}) = (1, 1, \dots, 1, \dots, 1)$ 와 같이 정의하는데, 이는 비교배열이 참조배열에 가장 근접한 대안을 찾는 데 도움을 준다.

Step 3 : 그레이 관계계수 계산

그레이 관계계수는 어떻게 x_{ij} 가 x_{0j} 로 되는지 결정하는데 사용된다. 그레이 관계계수 값이 클수록 x_{ij} 와 x_{0j} 는 더 근접하게 된다. 그레이 관계계수는 식 (8)과 같이 계산된다.

$$\gamma(x_{0j}, x_{ij}) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{ij} + \zeta \Delta_{\max}} \quad (8)$$

for $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$

식 (8)에서 $\gamma(x_{0j}, x_{ij})$ 는 x_{ij} 와 x_{0j} 사이의 그레이 관계계수이다. 여기서,

$$\Delta_{ij} = |x_{0j} - x_{ij}|,$$

$$\Delta_{\min} = \min\{\Delta_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\}$$

$$\Delta_{\max} = \max\{\Delta_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n\}$$

이며, ζ 는 구별계수(distinguishing coefficient, $\zeta \in [0, 1]$)이다.

구별계수는 그레이 관계계수의 범위를 확장하거나 축소하는데 사용되며, 의사결정자의 실무적 경험에 의해 주어진다. 구별계수 값이 클수록 그레이 관계계수가 커지므로 대안이 목표값에 더 근접하게 된다. 구별계수가 달라지면 GRA 분석결과가 달라질 수도 있으므로 여러 구별계수를 사용하여 검증할 필요가 있다.

Step 4 : 그레이 관계계수 등급 계산

그레이 관계계수 $\gamma(x_{0j}, x_{ij})$ 를 전부 계산한 후에 식 (9)를 이용하여 그레이 관계등급을 계산한다.

$$\Gamma(X_0, X_i) = \sum_{j=1}^n w_j \gamma(x_{0j}, x_{ij}) \quad (9)$$

for $i = 1, 2, \dots, m$

여기서 $\Gamma(X_0, X_i)$ 는 X_i 와 X_0 사이의 그레이 관계등급으로서 이는 참조배열과 비교배열 사이의 상관수준을 나타낸다. w_j 는 기준 j 의 가중치로서 $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 가 되며, 의사결정자에 의하여 주어진다.

그레이 관계계수는 비교배열과 참조배열 사이의 유사 정도를 나타내는 것으로, 각 기준에서 참조배열은 비교배열 사이에서 얻어지는 최적의 성과를 나타낸다. 그렇기 때문에 만일 어떤 기준의 비교배열이 참조배열로부터 가장 높은 그레이 관계등급을 얻는다면, 비교배열은 참조배열과 가장 유사성을 가질 것이며, 이 대안이 최적으로 선택이 될 것이다.

3. 평가 모형

본 연구에서는 물류센터 입지를 선정하기 위한 기준 설정을 위하여 <Table 1>과 같이 5개의 기본 기준과 15개의 하위 기준을 제시한다. 이 기준은 이전의 연구[1, 3, 19]와 물류 전문가와의 검토를 거쳐 개발한 것으로 물류 시스템의 형태에 따라 달라질 수 있다.

<Table 1> Evaluation Criteria for Location Selection of Distribution Center

Evaluation Criteria	A : Business environment	A1	Land value
		A2	Real estate value
		A3	Land improvement condition
		A4	Expected shipping volume a day
	B : Transportation	B1	Accessibility to main roads
		B2	Traffic and road facilities
		B3	Connection to multi-modal transport
	C : Geological environment	C1	Proximity to major customers
		C2	Proximity to suppliers
		C3	Proximity to the large city
	D : Personnel factor	D1	Easiness of hiring employees
		D2	Working conditions
	E : Regulatory and support	E1	Easiness of approval process
		E2	Financial and tax support
		E3	Environment related regulations

15개의 기준 중에서 A1 : 표준 공시지가, A4 : 일평균 기대물동량, C3 : 배후 도시와의 근접성, D1 : 근무인력 채용 용이성(지역 인구수)는 정량값을 가지며, 표준 공시지가와 배후 도시와의 근접성은 망소특성, 일평균 기대물동량은 망목특성 그리고 근무인력 채용 용이성을 포함한 나머지 11개의 정성적 기준은 망대특성이다.

본 연구에서는 제 3자 물류의 경우 물류센터의 입지 선정을 위하여 고객과의 거리, 교통량 이외에도 인근 지역 자원 활용도, 지역 경제 상황 등 인간의 감각에 의해 고려해야 할 요인이 많으므로 AHP를 활용하여 각 기준의 중요도를 계산한다. 물류 형태(제조와 물류센터, 유통업체의 물류센터 등)나 물류 지역기반(도심지역 또는 거점지역) 형태에 따라 달라짐을 고려하여 AHP를 활용하여 선정한다. AHP 분석은 정량값을 갖는 기준도 쌍비교에 의한 정성적 평가를 하는 반면에, GRA는 정량값을 직접 분석에 활용할 수 있는 것이 특징이다. 따라서, 본 연구에서는 물류센터 입지선정을 위하여 정량값을 갖는 4개 기준값(A1, A4, C3, D1)은 공식 자료를 인용하여 사용하고 나머지 기준은 AHP로 분석한 가중치를 기초로 GRA분석을 실시하여 최적 입지를 선정한다.

또한 본 연구에서 제시한 AHP와 결합한 GRA 분석결과와 비교하기 위하여 AHP를 이용하여 분석한 입지선정 결과도 제시한다.

4. 사례연구

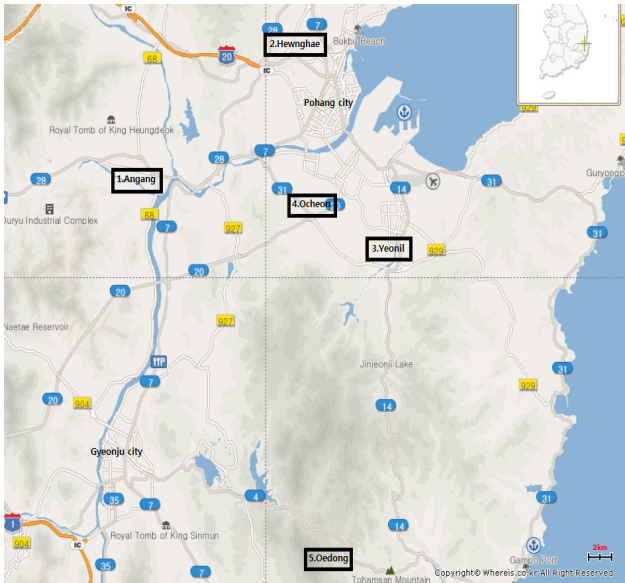
제 3자 물류 전문회사인 T사는 경상북도 동부지역(포항시, 경주시 중심)에 대하여 수입 가전제품의 보관, 배송 및 설치 서비스를 하는 회사로 주요 고객은 수입제품 판매 대리점이다. 최근 3년간 물동량이 증가 추세에 있어 신규 물류센터의 확보가 필요하여 <Figure 1>과 같이 5개의 후보 지역으로 1안 안강(Angang), 2안 흥해(Hewngghae), 3안 오천(Ocheon), 4안 연일(Yeonil), 5안 외동(Oedong) 지역을 고려하고 있다.

정량값을 갖는 A1, A4, C3, D1은 측정된 자료를 사용하고, 정성적인 값을 갖는 기준은 물류 전문가와 해당 업체의 실무자 그룹을 통하여 각 요소들의 상대적 선호도를 쌍비교하여 평가하는데 각 기준에 대한 고려사항은 다음과 같다.

표준 공시지가(A1)는 낮을수록 초기 투자비용이 적어지므로 망소특성이지만 지가가 낮을수록 수요처(고객)와의 거리가 멀어지므로 이를 고려하여야 한다. 본 연구는 국토교통부의 부동산 공시가격 알리미(www.kreic.org)를 이용한다.

장기적인 자산운용 관점에서 부동산 가치가 상승될 것으로 예상되는 지역에 물류센터를 건립하는 것도 중요하지만, 본 사례는 고객서비스 측면이 우선시되므로 부동산 가치 상승(A2)은 중요하지 않다. 토지이용 조건(A3)은 지형 조건이나 고도 제한 등에 따라 건축, 운용 방법 등이 다르지만 고객 접근성, 물동량 등의 요인보다는 덜 중요하다.

일반적으로 물류센터는 물동량을 최대화 하여 물류센터의 가동률을 높이는 것이 좋지만, 본 사례에서는 일평균 기대물동량(A4)을 고려하는데, 이는 제 3자 물류 서비스를 제공하는 기업에서는 중요한 요인으로 제품마다 설치 시간이 다르기 때문에 설치 시간과 이동 거리 등에 따라 고객과의 납기준수 시간이 달라지게 되어 고객만족도에 영향을 미치게 된다. 기존의 물류센터 운용 자료로부터 95%의 납기 준수율을 가질 때 고객만족도는 90%였으며, 이를 기초로 최적의 일평균 기대물동량이 12건으로 조사되었다. 1건은 1트럭(2.5 ton) 분량이 출하되는 양으로 12건을 상회하거나 부족할수록 고객과의 납기 준수율이 나빠져 고객만족도가 떨어진다.



<Figure 1> Candidate Regions for Selecting Distribution Center

주요 도로 접근성(B1)에서 물류센터는 IC인근에 위치하여 접근성을 용이하게 해야 하지만, 차량통행이 어려운 도로가 아니면 큰 영향을 미치지 못한다. 교통흐름과 도로시설(B2)은 입고의 경우 러시아워를 피해서 이동되기 때문에 큰 영향을 미치지 못한다. 타수송 형태와의 연계성(B3)은 수출입을 하는 경우 연계성이 중요하지만 본 사례와 같이 내륙운송에는 큰 영향을 미치지 못한다. 주요 고객과의 근접성(C1)은 물류는 고객에게 서비스를 제

공하는 업무 프로세스이므로 고객과의 접근성이 중요 요인이 된다. 주요 협력사와의 근접성(C2)은 제품을 납품하는 업체에서 배송 계획에 따라 입고하여야 하므로 큰 영향을 미치지 못한다. 배후 도시와의 근접성(C3)은 대도시 가까이 있을수록 고객과의 접근성이나 인적자원 활용 측면은 중요하나 투자비용 등 과도한 운용비용이 발생되어 본 사례에서는 큰 영향을 미치지 못한다. 본 연구는 중심도시인 포항과 경주를 중심으로 거리(km)를 측정하여 평균한 값을 사용한다.

근무인력 채용 용이성(D1)은 도시 근교에 있지 않다면 인력 채용에 어려움이 있으므로 영향이 있으며, 해당 지역의 인구수로 통계청의 국가 통계포털(www.kosis.kr)을 이용한다.

근무 여건(D2)은 근로자의 복지 정책이 동일하므로 큰 영향을 미치지 않는다. 인허가 용이성(E1)은 초기 물류센터 건립시 중요 요인이며, 지방자치 정부의 금융 및 세제 지원(E2) 역시 물류비 절감을 위하여 필요한 요인이다. 환경관련 규정 적용 정도(E3)도 관련 법규에 적용되는지에 따라 필요한 요인이다.

본 연구에서는 물류센터의 입지 선정을 위하여 모든 기준을 먼저 정성적으로 평가하여 AHP 분석을 실시하고, 이어 정량값 4개 기준과 나머지 기준은 AHP로 분석한 가중치를 기초로 GRA 분석을 실시하여 최적 입지를 선정한다.

4.1 AHP를 이용한 입지 선정

본 연구의 평가 결과와 비교하기 위하여 15개 기준을 AHP를 이용하여 평가하는데, 물류 전문가 그룹의 각 요소간 쌍비교 자료를 토대로 Expert Choice를 활용하여 중요도를 평가하며, 판정의 일관성 여부 및 민감도 분석을 실시한다.

각 기준간 중요도를 평가한 결과는 <Figure 2>와 같고, 비일관성 지수가 0.04로 판정기준인 0.1보다 적으므로 판단에 일관성이 있다고 할 수 있다. 가중치를 계산한 결과 주요 고객과의 근접성(C1) 20.4%, 일평균 기대 물동량(A4) 18.5%, 주요 도로 접근성(B1) 13.6%순으로 중요하다.

모든 기준에 대하여 5개의 입지후보지에 대한 평가 결과와 일관성지수를 Expert Choice를 이용하여 계산하면 <Table 2>와 같다.

<Table 2>의 각각의 가중치에 대하여 각 대안별로 종합화(synthesis)한 결과는 <Figure 3>과 같으며, 입지 선정 1순위는 안강, 2순위는 연일이 되며 이어 오천, 흥해, 외동 순으로 중요함을 알 수 있다.

Priorities with respect to : Goal : Priorities of each criteria		Sort by Priority	
A1 Land value	.047	C1 Proximity to major customers	.204
A2 Real estate value	.022	A4 Expected shipping volume	.185
A3 Land improvement condition	.029	B1 Accessibility to main roads	.136
A4 Expected shipping volume	.185	D1 Easiness of hiring employees	.101
B1 Accessibility to main roads	.136	E3 Environment related regulations	.068
B2 Traffic and road facilities	.057	B2 Traffic and road facilities	.057
B3 Connection to multi modal transport	.017	A1 Land value	.047
C1 Proximity to major customers	.204	E2 Financial and tax support	.044
C2 Proximity to suppliers	.033	C2 Proximity to suppliers	.033
C3 Proximity to the big city	.011	E1 Easiness of approval process	.031
D1 Easiness of hiring employees	.101	A3 Land improvement condition	.029
D2 Working conditions	.014	A2 Real estate value	.022
E1 Easiness of approval process	.031	B3 Connection to multi modal transport	.017
E2 Financial and tax support	.044	D2 Working conditions	.014
E3 Environment related regulations	.068	C3 Proximity to the big city	.011
Inconsistency = 0.04 with 0 missing judgments.			

<Figure 2> Priorities of Each Criteria

4.2 GRA를 이용한 입지 선정

정량값은 2013년을 기준으로 작성한 것으로 표준 공시지가(A1)는 국토교통부의 부동산 공시가격으로 m^2 에

<Table 2> Weights and Consistency Index of Each Alternative Using AHP

Alternative	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3
1. Angang	0.408	0.244	0.382	0.469	0.369	0.263	0.148
2. Hewnghae	0.115	0.060	0.095	0.134	0.110	0.073	0.079
3. Ocheon	0.146	0.331	0.226	0.236	0.230	0.127	0.250
4. Yeonil	0.063	0.308	0.222	0.115	0.222	0.465	0.474
5. Oedong	0.267	0.057	0.074	0.046	0.068	0.073	0.048
CI	0.07	0.04	0.02	0.07	0.02	0.01	0.04

C1	C2	C3	D1	D2	E1	E2	E3
0.413	0.363	0.303	0.125	0.276	0.129	0.286	0.205
0.084	0.127	0.091	0.241	0.109	0.229	0.143	0.110
0.116	0.296	0.148	0.454	0.255	0.262	0.143	0.110
0.339	0.155	0.400	0.134	0.272	0.281	0.143	0.118
0.048	0.058	0.058	0.046	0.088	0.099	0.286	0.457
0.05	0.03	0.04	0.01	0.01	0.04	0.00	0.01

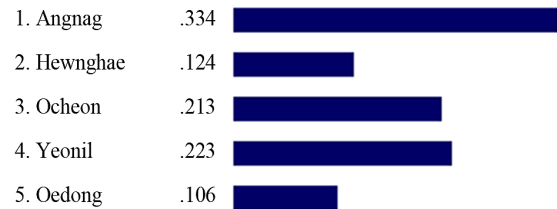
<Table 3> Data for GRA

Alternative	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3
1. Angang	135	0.244	0.382	12.611	0.369	0.263	0.148
2. Hewnghae	201	0.060	0.095	11.028	0.110	0.073	0.079
3. Ocheon	184	0.331	0.226	12.861	0.230	0.127	0.250
4. Yeonil	210	0.308	0.222	12.889	0.222	0.465	0.474
5. Oedong	160	0.057	0.074	10.472	0.068	0.073	0.048

C1	C2	C3	D1	D2	E1	E2	E3
0.413	0.363	16.925	30788	0.276	0.129	0.286	0.205
0.084	0.127	23.555	37138	0.109	0.229	0.143	0.110
0.116	0.296	20.105	49116	0.255	0.262	0.143	0.110
0.339	0.155	14.125	34115	0.272	0.281	0.143	0.118
0.048	0.058	32.170	16685	0.088	0.099	0.286	0.457

Synthesis with respect to:
Goal: Priorities of each criteria

Overall Inconsistency = .04



<Figure 3> Results of the AHP Synthesis

대한 가격(천원)이다. 배후 도시와의 근접성(C3)으로 중심 도시인 포항과 경주를 중심으로 거리(km)를 측정할 평균값을 사용하며, 근무인력 채용용이성(D1)은 해당 지역의 인구수이다. 그 외 나머지 정성적 기준은 <Table 2>에서 AHP로 평가한 가중치를 이용하며, 이를 종합하면 <Table 3>과 같다.

<Table 4> Results of Grey Relational Generating

Alternative	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3
X_0	1	1	1	1	1	1	1
1. Angang	1.0000	0.6825	1.0000	0.6001	1.0000	0.4847	0.2347
2. Hewnghae	0.1200	0.0109	0.0682	0.3639	0.1395	0.0000	0.0728
3. Ocheon	0.3467	1.0000	0.4935	0.4365	0.5382	0.1378	0.4742
4. Yeonil	0.0000	0.9161	0.4805	0.4182	0.5116	1.0000	1.0000
5. Oedong	0.6667	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

C1	C2	C3	D1	D2	E1	E2	E3
1	1	1	1	1	1	1	1
1.0000	1.0000	0.8448	0.4349	1.0000	0.1648	1.0000	0.2738
0.0986	0.2262	0.4774	0.6307	0.1117	0.7143	0.0000	0.0000
0.1863	0.7803	0.6686	1.0000	0.8883	0.8956	0.0000	0.0000
0.7973	0.3180	1.0000	0.5374	0.9787	1.0000	0.0000	0.0231
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000

<Table 5> Results of the Grey Relational Coefficient

Alternative	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3
1. Angang	1.0000	0.6116	1.0000	0.4287	1.0000	0.4925	0.3952
2. Hewnghae	0.3623	0.3358	0.3492	0.3205	0.3675	0.3333	0.3503
3. Ocheon	0.4335	1.0000	0.4968	0.3475	0.5199	0.3670	0.4874
4. Yeonil	0.3333	0.8563	0.4904	0.3402	0.5059	1.0000	1.0000
5. Oedong	0.6000	0.3333	0.3333	0.2308	0.3333	0.3333	0.3333

C1	C2	C3	D1	D2	E1	E2	E3
1.0000	1.0000	0.7632	0.4694	1.0000	0.3745	1.0000	0.4078
0.3568	0.3925	0.4890	0.5752	0.3602	0.6364	0.3333	0.3333
0.3806	0.6948	0.6014	1.0000	0.8174	0.8273	0.3333	0.3333
0.7115	0.4230	1.0000	0.5195	0.9592	1.0000	0.3333	0.3385
0.3333	0.3333	0.3333	0.3333	0.3333	0.3333	1.0000	1.0000

GRA 분석절차에 따라 먼저 <Table 3>의 자료를 비교 배열로 변환하기 위하여 그레이 관계형성을 한다. 15개 기준 중에서 표준 공시지가(A1)와 배후 도시와의 근접성(C3)은 망소특성이며, 기대 물동량(A4)은 망목특성 그리고 나머지 기준은 망대특성을 갖는다. 따라서 망소특성은 식 (6), 망목특성은 식 (7) 그리고 망대특성은 식 (5)를 이용하여 변환하면 <Table 4>와 같다. <Table 4>에서 X_0 는 참조배열이다. <Table 4>로부터 Δ_{ij} , Δ_{max} 그리고 Δ_{min} 을 구한 후 식 (8)을 이용하여 그레이 관계계수를 구하여 정리하면 <Table 5>와 같다. 본 사례에서 구별계수 ζ 는 중앙값인 0.5로 하여 분석한다.

그레이 관계계수 $\gamma(x_{0j}, x_{ij})$ 를 계산한 후에 식 (9)를 이용하여 그레이 관계등급을 계산한 결과는 <Table 6>과 같다. 본 사례에서 w_j 는 <Figure 3>의 각 기준별 중요도를 AHP로 분석한 결과를 이용한다.

<Table 6> Results of the GRA

Alternative	Grey relational grade	Rank of GRA	Rank of AHP
1. Angang	0.7297	1	1
2. Hewnghae	0.3801	5	4
3. Ocheon	0.5036	3	3
4. Yeonil	0.5592	2	2
5. Oedong	0.4012	4	5

GRA 분석을 이용하여 최적 물류센터 입지 선정 평가 결과를 보면 제 1순위는 1안인 안강, 2순위는 연일, 3순위는 오천 순으로 나타났다. 상위 3개 순위는 <Figure 3>의 AHP 분석결과와 일치하고 있으며, AHP 분석에서 5위를 차지한 외동지역은 전반적으로 입지 조건이 나쁘지만, 표준 공시지가, 지방 정부의 세제 및 금융지원 그리

고 환경관련 규정 적용이 우수하여 4위인 흥해 지역보다 GRA 분석결과에서는 좋게 나타났다.

본 연구모형에서 제시한 GRA와 AHP로 분석한 결과 물류센터 입지는 안강으로 결정하는 것이 좋다는 것을 보여주고 있다.

5. 결 론

일반적으로 물류센터 입지 선정 문제는 정량적 기준과 정성적 기준을 갖는 다기준 의사결정 문제이다. 그러나 대부분의 기준은 정보가 미흡하고, 불완전하며 불확실성을 갖는 경우가 많다. 이러한 판단 정보의 모호함을 극복하기 위하여 본 연구는 참고 문헌과 물류 전문가와 인터뷰를 통하여 5개의 주요 기준과 15개의 하위 기준으로 계층 구조 모형을 개발하였다.

AHP 분석은 정량값을 갖는 기준도 쌍비교에 의한 정성적 평가를 하는 반면에, GRA는 정량값을 직접 분석에 활용할 수 있는 것이 특징이다. 본 연구에서는 불충분한 정보를 갖는 경우의 물류센터 입지선정을 위하여 정량값을 갖는 4개 기준값은 공식 자료를 인용하고, 나머지 기준은 AHP로 분석한 가중치를 기초로 GRA 분석을 실시하여 최적 입지를 선정하는 절차를 제시하였다. 또한 본 연구 모형과 비교를 위하여 AHP를 이용한 입지 선정 문제도 제시하였다. 본 연구 모형의 유효성을 확인하기 위하여 물류센터 입지 선정을 위한 실 사례를 제시하였으며, GRA로 분석한 결과 안강지역이 최적 물류센터 입지로 선정되었다. 이 결과는 AHP로 분석한 결과와 일치하고 있어 의사결정자에게 실무적인 도움을 줄 것이다.

본 연구에서 AHP 분석 결과와 GRA 모형으로 분석한 결과가 일치한다 하여 이 대안이 최적이라 판정하기에는 한계가 있다. 이를 극복하기 위하여 이론적으로 분석한 결과와 실제 선정한 결과에 대하여 장기간의 추적 분석을 통하여 일치 여부를 검증할 필요가 있다.

References

- [1] Ashrafzadeh, M., Rafiei, F.M., Isfahani, N.M., and Zare, Z., Application of fuzzy TOPSIS method for the selection of Warehouse Location : A Case Study. *Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business*, 2012, Vol. 3, No. 9, pp. 655-671.
- [2] Athawale, V.M. and Chakraborty, S., Application of grey relational analysis method in solving supplier selection problems. *The IUP Journal of Operations Management*, 2011, Vol. X, No. 1, pp. 18-29.
- [3] Awasthi, A., Chauhan, S.S., and Goyal, S.K., A multi-criteria decision making approach for location planning for urban distribution centers under uncertainty. *Mathematical and Computer Modelling*, 2011, Vol. 53, pp. 98-109.
- [4] Balasubramanian, S., Grey Relational Analysis to determine optimum process parameters for Wire Electro Discharge Machining(WEDM). *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2011, Vol. 3, No. 1, pp. 95-101.
- [5] Chiang, Y.M. and Hsieh, H.H., The use of the Taguchi method with grey relational analysis to optimize the thin-film sputtering process with multiple quality characteristic in color filter manufacturing. *Computers and Industrial Engineering*, 2009, Vol. 59, pp. 648-661.
- [6] Deng, J.L., Control problems of grey system theory. *Systems and Control Letters*, 1, 1982, pp. 288-294.
- [7] Forman, E.H. and Gass, S.I., The Analytic Hierarchy Process-An Exposition. *Operations Research*, 2001, Vol. 49, No. 4, pp. 469-486.
- [8] Huang, J.T. and Liao, Y.S., Optimization of machining parameters of wire-EDM based on grey relational and statistical analysis. *International Journal of Production Research*, 2003, Vol. 41, No. 8, pp. 1707-1720.
- [9] Hsu, L.C. and Wang, C.H., Forecasting integrated circuit output using multivariate grey model and grey relational analysis. *Expert Systems with Applications*, 2009, Vol. 36, pp. 1403-1409.
- [10] Kayacan, E., Ulutas, B., and Kaynak, O., Grey system theory-based models in time series prediction. *Expert Systems with Applications*, 2010, Vol. 37, pp. 1784-1789.
- [11] Kuo, M.S. and Liang, G.S., Combining VIKOR and GRA technique to evaluate service quality of airports under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 2011, Vol. 38, pp. 1304-1312.
- [12] Kuo, Y., Yang, T., and Huang, G.W., The use of grey relational analysis in solving multiple attribute decision-making problems. *Computers and Industrial Engineering*, 2008, Vol. 55, No. 1, pp. 80-93.
- [13] Lin, S.L. and Wu, S.J., Is grey relational analysis superior to the conventional technique in predicting financial crisis?. *Expert Systems with Applications*, 2011, Vol. 38, pp. 5119-5124.
- [14] Partovi, F.Y., An analytic model for locating facilities strategically. *Omega*, 2006, Vol. 34, No. 1, pp. 41-55.

- [15] Saaty, T.L., *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York. 1980.
- [16] Shi, H. and Deng, Y., A Grey Model for Evaluation of Information Systems Security. *Journal of Computers*, 2012, Vol. 7, No. 1, pp. 284-291.
- [17] Tseng, M.L., Using linguistic preferences and grey relational analysis to evaluate the environmental knowledge management capacity. *Expert Systems with Applications*, 2010, Vol. 37, pp. 70-81.
- [18] Wang, C.H. and Tong, L.I., Quality Improvement for dynamic Ordered Categorical Response Using Grey Relational Analysis. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2003, Vol. 21, pp. 377-383.
- [19] Wang, Y., Ma, X., Lao, Y., Wang, Y., and Mao, H., Location optimization of multiple distribution centers under fuzzy environment. *Journal of Zhejiang University-Science A, Applied Physics and Engineering*, 2012, Vol. 13, No. 10, pp. 782-798.
- [20] Wu, C.R., Lin, C.T., and Tsai, P.H., Evaluating business performance of wealth management banks. *European Journal of Operational Research*, 2010, Vol. 207, pp. 971-979.
- [21] Zhao, C., Liu, Y., and Yu, Z., Evaluation for Survivable networked System Based on Grey Correlation and Improved TOPSIS. *Journal of Networks*, 2011, Vol. 6, No. 10, pp. 1514-1520.

ORCIDTaehee Woo | <http://orcid.org/0000-0003-1780-5895>Seung Bach | <http://orcid.org/0000-0002-5802-0958>