

안전 옵션 선정 다준규의사결정 모델

김태희*

Application of Multi Criteria Decision Making for Selection of Automobile Safety Option

Taehee Kim*

Key Words : Multi Criteria Decision Making(다준규의사결정모델) PROMETHEE II(프로메티 II), Graphical Analysis for Interactive Aid(가이아)

ABSTRACT

Choosing automobile safety options is price-performance matter. The best fit options to buyer who has a certain driving habit are problem of MCDM (Multi Criteria Decision Making) because price of safety option, statistics of relating accident, consequence of accident, and driving habit are the multi criteria to be evaluated. In this paper, PROMETHEE-GAIA methodology is applied for solving this MCDM problem. The result shows that a different driving habit makes different choosing priority of safety options.

1. 서론

새롭게 출시되는 자동차는 긴급제동(AEB : Autonomous Emergency Braking), 사각지대감시(BSM : Blind Spot Monitoring), 차선이탈경보(LDW : Lane Departure Warning) 등 다양한 새로운 안전사양을 제공한다. 그러나 그 가격이 적지 않기 때문에 자동차의 옵션 선정은 항상 어려운 일이 된다. 구매자의 입장에서는 어떤 옵션이 본인에게 가장 적합한지 결정하는 것이 비용 대비 효과를 높게 할 수 있다. 자동차의 안전 사양 선정에 관계되는 인자로는 가격, 사고 영향(사고 통계, 사후 비용) 그리고 운전자의 운전 습관 등이 있다. 사고 영향은 앞으로 일어날 사고 확률과 본인에게 일어났던 사고 확률을 함께 고려해야 한다. 이런 인자들은 다중 준거이며 이를 모두 포함해서 최적의 결과를 도출하는 방법이 다중준거의사결정(Multi Criteria Decision Making, MCDM)이다.

다준규의사결정모델 방법을 이용한 대안 평가는 여러 분

야에서 많이 적용되어 왔다. Chu, T.C.⁽³⁾는 Fuzzy MCDM 방법을 적용하여 컨설팅 회사를 선정하는 모델을 제시하였다. Franz, T.G.⁽⁴⁾는 여러 가지 MCDM 방법을 적용하여 다수의 사업 분야의 우선순위를 결정하는 모델을 제시하였다. Chitsaz, N.⁽⁵⁾은 여러 가지 MCDM 방법을 이용하여 홍수 대책 대안들을 평가하는 모델을 제시하였다. MCDM은 다수의 준규를 가진 복합적인 의사결정 환경에서 최적의 대안을 제시하는 방법으로 여러 분야에 다양한 적용 사례를 가지고 있음을 알 수 있다.

본 논문에서는 자동차 안전 옵션의 선택에 있어서 다수의 준거를 가진 복합적인 의사결정 모델을 제시하고자 한다.

2. 다중준거의사결정 모델

2.1. 다중준거의사결정 모델

다준규의사결정모델은 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$Max\{f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x) \mid x \in A\} \quad (1)$$

* 신한대학교

E-mail : kimth@shinhan.ac.kr

A는 $f_i()$ 에서의 n개의 유한한 가산 행동 집합이며 $j=1,2,\dots,k$ 는 평가준거 함수이다. 다준규의사결정모델은 k개의 평가준거에 대해 대안들의 함수 f_i 의 최적화 문제이다⁽⁶⁾. MCDM 방법론은 대개 다음과 같이 3가지 영역으로 구분할 수 있다⁽⁶⁻⁸⁾.

1. 가치 측정 모델 : 각 대안에 대한 점수가 매겨지고 각 준거에 대한 비중을 곱하여 대안들의 우선순위를 평가한다. Weight Sum Model(WSM⁽⁹⁾)과 Analytic Hierarchy Process(AHP)⁽¹⁰⁾가 있다.
2. 참조 수준 모델 : 대안들이 정해진 목표에 잘 근접하는지를 측정한다. Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution(TOPSIS)⁽¹¹⁾이 있다.
3. 우위산정 모델 : 각 준거에 대해 대안들을 쌍으로 비교하여 대안들의 타 대안에 대한 선호도를 측정한다. ELimination and Choice Expressing REality(ELECTRE)⁽¹²⁾와 Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation(PROMETHEE)⁽⁶⁾이 있다.

2.2. PROMETHEE II 기법

위의 방법 중 우위산정 모델은 다음의 두 단계를 거치게 된다.

1. 우위 구성 단계 : 모든 대안 쌍을 비교한다. 모든 순서의 쌍은 0과 1사이 값을 이용하여 제안에 대한 선호도를 비교하게 된다.
2. 탐색 단계: 위의 식에 대한 답을 구하기 위해 1단계의 비교 결과를 탐색한다.
PROMETHEE II 방법론은 아래와 같다⁽⁶⁾.

- * ω_j - 평가준거의 비중.
- * $f_j(a)$ - j 준거의 대안 a에 대한 선호도함수.
- * $P_j(a,b)$ - 대안 a의 대안 b에 대한 평가준거 j에 대한 선호도

여기서 $P_j(a,b) = P_j(f_j(a), f_j(b))$ 이며 Criterion j를 적용할 때 대안(a)가 대안(b)에 대해 선호하는 값을 말한다. 대안 a, b에 대한 j 평가준거에 대한 선호함수의 속성은 다음과 같이 표현할 수 있다.

대안 a, b	선호도
$P_j(a,b) = 0$	a와 b는 무관한 선호도
$P_j(a,b) \approx 0$	b에 대한 a는 약한 선호도
$P_j(a,b) \approx 1$	b에 대한 a는 강한 선호도
$P_j(a,b) = 1$	b에 대한 a는 확고한 선호도

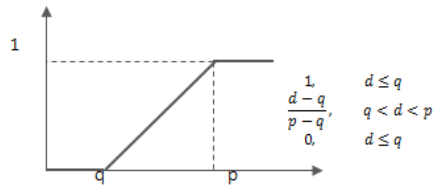


Fig. 1 Linear-shape 선호도

평가기준(criteria)에 대한 선호함수의 값이 크다는 것은 대안들에 대한 평가기준 값의 차이에 대한 대안으로써 선택 기준을 삼을 수 있다는 것을 말한다. 평가에 적용된 Linear-shape 선호도 함수는 Fig. 1과 같다.

- * q - 비선호도의 한계를 나타내며 선호도가 0인 최대 값이다. q 이하 값이면 P가 0이므로 서로 무관하기 때문에 선호되지 않음을 나타낸다.
- * p - 선호도의 한계를 나타내며 선호도가 1인 최소값이다. p 이상 값이면 P가 1이므로 견고한 선호도로 무조건 선호하게 됨을 나타낸다.
- * $P(a,b)$ - a가 b에 선호되는 정도를 나타내는 다중 선호준규 인덱스를 나타내며 아래와 같이 계산된다. 모든 준규를 포함하기 위해 각 준규의 선호도에 비중을 곱한 것을 합한다:

$$\Pi(a,b) = \frac{1}{W} \sum_{j=1}^n \omega_j P_j(a,b), \quad W = \sum_{j=1}^n \omega_j \quad (2)$$

- * $\Phi^+(a)$ $\Phi^-(a)$ - 다중 선호준규의 (+) (-)의 선호량을 나타내며 다음과 같이 표현된다:

$$\Phi^+(a) = \sum_{b \in A} \frac{\pi(a,b)}{n-1} \quad (3)$$

$$\Phi^-(a) = \sum_{b \in A} \frac{\pi(b,a)}{n-1}$$

총선호량은 $\Phi = \Phi^+ - \Phi^-$ 이다.

2.3. PROMETHEE-GAIA 기법

PROMETHEE II 모델의 단점은 선호함수의 비중 선정에 있다. 비중 선정의 당위성을 점검하는 방법으로 GAIA (Graphical Analysis for Interactive Aid)를 적용할 수 있다.

다준규의사결정 모델은 n 대안을 k 공간에 표시할 수

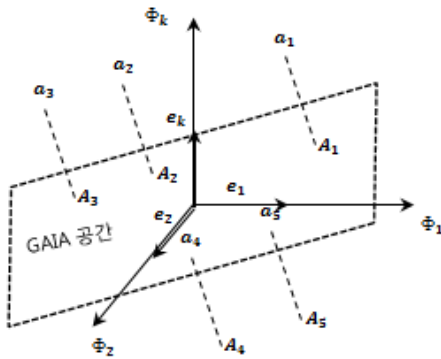


Fig. 2 선호량의 GAIA 공간 변환⁽¹³⁾

있다(Fig. 2). k공간은 다차원 공간으로 쉬운 해석이 불가능하다.

GAIA는 k 공간을 중요한 2차원 공간으로 투영시키고 이를 도식적으로 해석하는 방법이다. Principal Component Analysis를 적용하여 주요한 정보를 가진 축에 대한 변화를 통해 모델의 적정성을 판별하게 된다⁽¹³⁾. 먼저 각 준거에 대한 대안 들 간의 순선호도를 구하고 covariance의 고유벡터를 구한다.

$$C = cov\{P_k(a_i, a_j) - P_k(a_j, a_i)\}, k: \text{준거} \quad (4)$$

$U, V: 1,2$ 번째 *eigenvector*

공간 변환 시 정보의 보존성은 다음과 같다.

$$\delta = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\sum_{j=1}^k \lambda_j}, \lambda_1, \lambda_2: 1,2\text{번째 고유치} \quad (5)$$

δ 값으로 UV공간으로 변환할 때 보존되는 정보의 양을 측정할 수 있으며 그 값이 0.9이면 90퍼센티지 보존되는 것이다. 순선호도 P_k 는 대안들의 준거에 대한 선호도이며 비중과 독립적이기 때문에 비중 벡터 ω 이 변화될 때 상호 연관성을 해석할 수 있다. 준거에 대한 순선호도를 독립적인 UV공간으로 변환하여 준거들에 대한 유사도를 해석할 수 있다. 또한 각 대안들을 UV공간으로 변환하여 각 준거들과의 유사도 및 각 대안들 간의 상이도를 해석할 수 있다.

비중벡터 ω 의 UV공간으로 변환한 벡터를 Decision Stick이라 하며 다음과 같다.

$$DS = \omega \cdot [UV] \quad (6)$$

PROMETHEE-GAIA에서 각 대안들의 UV 변환 값이 Decision Stick 방향으로 향하고 값이 큰 정도를 보고 대안의 선호도를 평가한다.

3. 자동차 안전 옵션 선정 문제

3.1 자동차 안전 옵션 장치 및 사고 통계

자동차 안전 옵션은 특정 사고를 예방하거나 사고 영향을 경감시키기 위해 개발되는 장치이다. Table 1에 5가지 안전 옵션에서 자동긴급제동(AEB)은 주행 중 정면에 나타난 장애물을 감지하고 긴급제동을 하는 장치이고 인명사고 및 차량사고를 예방이 목적이다. 사각지대감시(BSM)은 사각지대에 있는 장애물을 감지하여 운전자에게 알람을 주는 장치이다. 측후방차량감시(RCA)는 후방 측면 차량을 감지하여 운전자에게 알려주는 장치이다. 차선이탈경보(LDW)는 주행 중 차선 이탈을 경고하는 장치이다. 후방자동주차(RPA) 기능은 주차 시 장애물을 회피하면서 자동 기능으로 주차하는 기능이다.

년간 자동차 사고 통계 자료는 경찰청이 공식적으로 발표한 연간 자동차사고 통계자료⁽¹⁴⁾를 근간으로 위에 제시된 안전 옵션과 관련된 사고를 고려하여 만들어졌다 (Table 2).

Table 1 안전 옵션 및 목적

안전 옵션	예방 및 경감 사고	사고 영향
AEB	정면 또는 측면 충돌	인명 차량
BSM	주행 중 측면 추돌	인명 차량
RCA	후면 충돌 및 주차 충돌	인명 차량
LDW	주행 중 측면 추돌	인명 차량
RPA	주차 중 후면 충돌	인명 차량

Table 2 안전 옵션 관련 통계 데이터

	인명사고		차량사고	수리비	옵션가격
	부상	사망			
RCA	33	4	28	50	600
BSM	2,950	80	2872	200	400
AEB	1,074	23,264	62,775	800	950
LDW	10	10	24,783	300	600
RPA	5,783	462	22,537	100	500

사고와 관련한 평가근거는 부상 사망 차량사고 데이터 를 채택하였다. 자동차 사고 통계자료에서 사고의 정확한 원인이 제시되어 있지 않기 때문에 옵션 장치가 예방 또는 경감할 수 있는 사고는 중첩되게 합산하였고 세부 분류가 어려운 경우에는 관련성이 있는 데이터를 모두 합산 하여 데이터 선정의 오류를 최소화하였다. 사고 수리비는 특정 중형차 사고에 대한 정비소에서 얻은 자료를 표 본으로 삼았다. 다만 사고의 영향 측면에서 그 크기를 예 상하였고 이 값들이 정확한 데이터는 아니지만 각 대안들 에 관련된 사고 크기를 비교할 수는 있다. 국내 자동차제 조사의 가격표에서 옵션가격은 개별 장치 가격을 제시하 지 않고 패키지로 묶여 있거나 트림 항목으로 들어 있어 서 본 연구에서 안전 사양이 중요한 동인이기 때문에 트 림 가격의 반을 안전사양 가격으로 산정하였고 안전사양 이 복수로 트림이나 패키지에 묶여 있을 경우 중요도를 감안하여 선정하였다. 손해보험사의 더 정확한 자료를 입 수하여 추후 더 정확한 모델을 수립할 수 있으리라 생각 한다. Table 2에서 5가지 평가준거에 대한 데이터가 제 시되었다. 마지막으로 구매자의 습관은 구매자에 따라 다 른 값들을 정할 수 있다.

3.2 PROMETHEE 모델링

Table 2의 데이터에서 안전 옵션은 선택을 위한 대안 들이고 비교할 평가 준거는 부상, 사망, 차량사고, 수리 비, 옵션가격과 구매자 습관이다. 위 데이터에서 옵션가 격과 사고 데이터(부상, 사고, 사망)를 비교하면 가장 합 리적인 선택은 AEB가 가격대비 성능이 가장 높고, RCA 가 그 값이 가장 작다고 할 수 있다. 그러나 구매자의 운 전 패턴과 사고 이력이 상이하고 취향에 따라 결과는 달 라질 수 있다. 구매습관 준거의 데이터는 Table 3에서의 같이 1에서 10 사이의 값으로 하고 값이 클수록 확률이 높은 것을 뜻한다.

식 (2)의 평가준거 비중 ω_j 는 Table 4에 제시되었다. 비중의 선정은 평가모델에 따라 달라질 수 있고 통계적인

Table 4 준거의 비중 및 최대/최소 함수

준거	부상	사망	사고	비용	가격	구매자 습관
ω_j	0.15	0.15	0.3	0.1	0.1	0.2
최대/최소	최대	최대	최대	최대	최대	최소

Table 5 선호함수의 한계값

	부상	사망	사고	비용	가격	구매자 습관
q	1,000	40	3,000	100	100	2
p	2,500	400	20,000	200	200	5

방법으로 또는 모델 적정성 관점에서 정해질 수 있다⁽¹⁴⁾. 인명사고의 비중이 각각 0.15과 0.25이고 구매자의 습관의 비중은 0.3으로 정하였다. PROMETHEE II의 선 호함수의 한계 값은 Table 5에 제시되었다.

3.2 PROMETHEE 모델링 결과

PROMETHEE II 및 GAIA는 프로그램 도구 MATLAB 으로 프로그램을 작성하였다.

Table 2의 평가준거 별 대안 값들과 Table 3의 구매 자의 습관 준거 값들을 적용하여 모델을 구동하였다.

구매자1은 후방주차 및 측면 사고 이력을 가진 사람, 구매자2는 전방 충돌 사고 이력을 가진 사람, 구매자는 측 면 사고 확률이 높은 사람의 경우를 예상한 평가준거 값 이다. PROMETHEE 모델을 적용하여 평가한 선호도는 구매자1의 경우 RPA > AEB > LDW > BSM > RCA이다.

PROMETHEE II 모델의 적용한 총선호량은 Table 6 과 같다. 모든 경우 AEB의 총선호량이 제일 큰 값을 나타 낸다. 두 번째 선호도를 나타내는 것은 준거 값과 관계없 이 RPA로 나타난다. 그러나 PROMETHEE II의 총선호 량은 비중 값에 따라 달라질 수 있으므로 GAIA 분석을 통해 적정성을 분석할 필요가 있다.

Table 3 구매자의 운전습관 값 예

구매자습관 준거	RCA	BSM	AEB	LDW	RPA
구매자1	5	8	4	9	10
구매자2	7	8	10	9	4
구매자3	5	6	9	8	6

Table 6 PROMETHEE II 총 선호량(Φ) 결과값

구매자습관 준거	RCA	BSM	AEB	LDW	RPA
구매자1	-1.45	-0.65	3.28	-1.06	-0.11
구매자2	-2.52	-0.855	3.21	-1.20	0.89
구매자3	-1.65	-0.32	2.21	-0.73	0.49

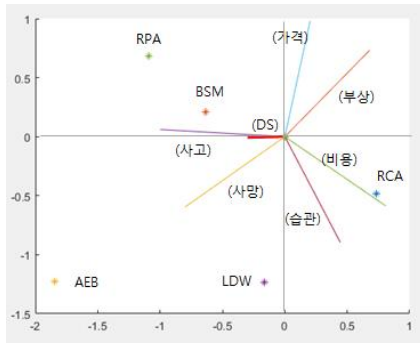


Fig. 3 구매자3 GAIA 공간 결과

Table 7 구매자3의 대안의 UV 공간 선호량(P_k) 결과

	RCA	BSM	AEB	LDW	RPA
P_k	0.88	0.66	2.21	1.24	1.28

Fig. 3에서 GAIA분석 구매자3의 준거를 적용한 값을 보여 준다($\delta=0.92$). 6가지 준거가 서로 다른 각도를 이루고 있지만 비용과 습관 준거, 부상과 가격 준거가 서로 유사성을 띠고 있음을 알 수 있다. 그리고 부상, 사고, 비용은 서로 상당히 독립적임을 알 수 있다. Decision Stick의 방향은 사고 준거와 방향이 유사하다.

각 대안들의 순선호양(P_k)는 Table 7과 같다. UV공간에 변환된 순선호량은 AEB 대안을 제외하고는 Table 6의 PROMETHEE II의 결과 값과 상당히 차이를 보여준다.

대안 중에서 Decision Stick과 유사한 방향은 BSM, RPA, AEB이다. BSM이 가장 방향이 일치한다. LDW의 P_k 값은 BSM이나 RPA보다 크지만 방향이 정반대이기 때문에 선호 대상이 될 수 없다(Fig. 3). 선호 우선순위는 선호 값이 클수록 그리고 방향이 일치할수록 우선하기 때문에 이 경우 우선순위는 AEB > BSM > RPA > LDW > RCA가 된다.

Table 8 구매자2의 경우에 대한 선호량은 AEB > RPA > LDW > RCA > BSM으로 나타난다. 그러나 Fig. 4에 나타난 GAIA공간 변환된 후의 우선 순위는 RPA > AEB > BSM > LDW > RCA 순으로 나타난다($\delta=0.89$).

6. 결론

안전옵션과 관련된 통계 데이터는 안전옵션의 우선순위 선정과 관련하여 직접적인 관련성을 가지기는 하지만 다중의 준거를 가지고 경유이기 때문에 평가의 어려움이 있다.

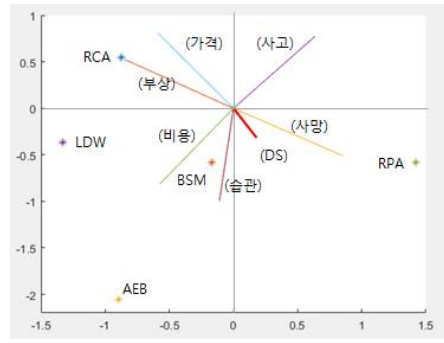


Fig. 4. 구매자2의 GAIA 공간 결과

Table 8 구매자2의 대안의 UV 공간 선호량(P_k) 결과

	RCA	BSM	AEB	LDW	RPA
P_k	1.03	0.61	2.24	1.37	1.53

본 논문에서는 자동차 안전 옵션 선정과 같은 복합적인 다중 평가준거를 가진 의사결정 문제에서 PROMETHEE-GAIA를 적용한 합리적인 평가 모델을 제시한다. 운전자의 습관과 사고통계와의 확률적 연관성은 다른 연구 영역이긴 하지만 자동차 안전 옵션 문제에 있어서 평가준거 항목으로 구매자의 운전습관과 같은 개인의 성향에 대한 항목이 우선순위 결정에 아주 중요한 요인이 되기 때문에 평가준거로 도입하였다. 운전자의 운전습관을 포함한 PROMETHEE II 결과는 포함하지 않은 것에 비해 크게 다르지 않게 나타났다. 그 이유는 PROMETHEE II의 총선호량은 통계 데이터 크기에 좌우되기 때문이다. 그에 반해 GAIA 분석에서는 우선순위의 방향이 바뀌어 운전 습관 평가준거 포함에 따라 결과가 더욱 현실에 가까운 결과를 가져온다. 그 이유는 각 평가준거의 독립성 요인을 더 고려하기 때문이다. 그러므로 구매자의 습관을 포함하는 모델이 각 평가준거의 독립적인 영향을 고려하여 평가하게 되면서 결과가 더욱 현실에 근접한 모델이 됨을 결과적으로 나타내었다.

참고문헌

- (1) Labibm A.W., Connor, R. and Williams G.B., 1998, "An effective maintenance system using the analytic hierarchy process. Integrated Manufacturing Systems", Vol. 9, No. 2.
- (2) Machefske, C.K. and Wang, Z., 2003, "Using fuzzy

- linguistics to select optimum maintenance and condition monitoring strategies”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 179, No. 2.
- (3) Chu, T.C., 2011, “Evaluating Consulting Firms Using a Centroid Ranking Approach based Fuzzy MCDM Methods”, *Aix-les-Brains*, Jul.
- (4) Franz, T.G., Patrick, E., 2017, “Comparison of Multi-Criteria Decision Support Methods for Integrated Rehabilitation Prioritization”, *Water*, Vol. 9, No. 68.
- (5) Chitsaz, N. and Banihabib, M.E., 2015, “Comparison of Different Multi Criteria Decision-Making Models in Prioritizing Flood Management Alternatives”, *Water Resources Management*, Iss. 8.
- (6) Brans, J. and Vincke, 1985, “Preference Ranking Organization Method(the PROMETHEE Method for Multi Criteria Decision-making. *Management Science*”, *Management Science*, Vol. 31, No. 6.
- (7) Belton, V., Stewart, T.J., 2002, “Multiple Criteria Decision Analysis”, Springer: Boston, MA, USA, 2002.
- (8) Tzeng, G.H., Huang, J.J., 2011, “Multiple Attribute Decision Making Methods and applications”, CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- (9) Churchman, C.W., Ackoff, R.L., 1954 etc “An Approximate Measure of Value”, *J. Oper. Res. Soc. Am.* Vol. 2.
- (10) Thomas L. S. 2008, “Decision making with the analytic hierarchy process”, *Int. J. Services Sciences*, Vol. 1, No. 1.
- (11) Hwang, C.L., Yoon, K., 1981, “Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications A State-of-art Survey”, Springer.
- (12) Benayoun, R., Sussman, N., 1966, “Manual de Reference du Programme Electre”, SEMA, Paris, France.
- (13) Brans, J.P., Mareschal, B., “Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys – Promethee Methods”, *International Series in Operations Research & Management Science*.
- (14) 경찰청, “2015 교통사고 통계 2014”, 국가승인통계, 승인번호 13202.
- (15) Maryam, B. and Yves, D.S., 2016, “Determining new possible weight values in PROMETHEE: a procedure based”, Aug.