

의사결정을 돕는 실감가시화 방안에 관한 연구

박지형, 이중호, 염기원, 이승수, 엄주일
한국과학기술연구원
jhpark@kist.re.kr, yap153@kist.re.kr

Graphical Expression Method for Decision Process Support

Park, Ji Hyung, Lee, Joong Ho, Yeom, Ki Won, Lee, Seung Soo, Eom Ju Il
CAD/CAM Research Center, KIST

요약

HCI 연구의 주된 주제는 인간중심의 상호작용 환경의 개발이다. 이러한 개발 과정에서 새로운 인터페이스 환경이 실생활에 어떠한 기능적 효용가치를 가져다 줄 것인가에 관한 문제가 중요하게 고려되어야 한다. 이를 위해 실질적인 적용사례 구축을 통해 효용성을 입증하는 것이 필요하다. 또한, 최근의 HCI 는 기존의 인터페이스 수단을 대체하는 것을 목적으로 개발되어 왔으나, 보다 발전된 접근방법으로서 기존의 인터페이스가 소화할 수 없었던 상호작용의 의미론적 요소들을 다루는 것이 필요할 것이다. 이러한 맥락에서 기존 컴퓨팅 환경에서의 문제해결 프로세스의 한 예를 고찰하고 이것이 새로운 HCI 환경에서 효과적인 방법으로 어떻게 구현될 수 있는가에 대한 구체적인 사례를 연구하였다.

본 논문은 문제해결의 한 예로서, ‘복수개의 결정사안 중 최선의 방안을 도출하는 의사결정과정’에서 HCI 를 접목한 효과적인 의사결정 프로세스를 제안하고 이의 효용성을 검증한다. 이러한 의사결정 방법론으로 기존에 사용되는 AHP(Analytic Hierarchy Process)가 대표적이다. 일반적으로 AHP 는 각 고려인자간 쌍대비교(pairwise comparisons)를 통해 중요도를 평가하는 과정을 포함한다. 이 과정을 통해 각각의 인자간의 쌍대비교치를 결정한 후 일련의 계산과정을 거쳐 그 결과를 도출한다. 이 작업은 통상적인 데스크탑 컴퓨터 환경에서 이루어진다. 본 논문에서는 각 인자간의 쌍대비교를 통한 우선순위를 결정하는 과정에서 새로운 인터페이스 환경의 적용을 위한 효과적인 연산 알고리즘을 제안하고 이의 효용성을 검증한다. 또한 의사결정 과정의 직관적 가시화를 위해 기본적인 프리미티브 도형으로 이루어진 그래픽 인터페이스를 구현하고, 기존의 의사결정 과정과 그 효용성을 비교한다.

Keyword : HCI, TSI, 의사결정, AHP,가시화, Graphic Interface

최근 컴퓨팅 환경의 발전에 힘입어 HCI 를 이용한 다각적인 업무지원 시스템의 개발이 시도되고 있다. 이러한 시도의 일환으로 가상현실, 증강현실, 햅틱 인터페이스등 다양한 실감 기술의 개발이 진행되고 있다. 그러나 이러한 실감 기술의 개발은 인간에게 직관적인 인터페이스 수단의 구현에 1차적인 목표를 두고 있으므로 이의 실질적인 적용 사례를 밝히는 데에는 소극적이었다. 새로운 가시화 방법을 구현하는 기술적 시도와 병행하여 이의

구체적인 적용사례를 밝히는 것 또한 중요하게 다루어져야 한다.

본 논문은 HCI 의 실제 적용사례로서 회의공간에서의 의사결정 프로세스 지원 시스템의 구현에 관한 것이다.

1) 기존 의사결정의 문제점

우리는 연구소의 연구활동, 기업의 정책결정, 산업현장에서의 문제 해결 등 다양한 분야에서 의사결정 회의를 경험하게 된다. 합리적이고 신속, 정

확한 의사결정은 그 집단의 역량을 가늠하는 중요한 척도라고 할 수 있다. 이러한 중요한 역량이라 볼 수 있는 의사결정 과정은 일반적으로 현실에서는 보수적이고 비합리적으로 진행되는 경향이 있다. 가장 비중 있는 결정권자의 의도대로 결론이 도출되거나 즉흥적으로 감성에 치우친 결과를 얻는 경우들은 주변에서 흔히 볼 수 있는 일이다. 이러한 문제들은 주어진 의결사항에 대한 총체적이고 논리적인 분석절차를 포함하지 않기 때문에 발생하는데 이러한 합리적 의사결정 과정은 인간의 분석능력에 의존하기에는 정보량이 크고 복잡하다는 것이 근본적 문제이다.

2) AHP 의사결정의 특징

AHP 는 1970 년대 초반 펜실베니아 대학교 와튼 경영대학원 교수였던 Thomas Saaty 에 의하여 개발되었다. 본격적으로 AHP 가 알려진 것은 Saaty 가 1980 년에 출간한 그의 저서 『The Analytic Hierarchy Process』 를 통해서이다. 그 이후 US Navy, NASA 등 미국의 정부기관과 IBM, GM, Xerox, 3M 등 민간기업에서 AHP 를 활용하여 성공한 사례가 보고되면서 1999 년 5 월 10 일자 포춘지의 「Click Here for Decisions」 라는 기사에 Thomas Saaty 의 AHP 이론의 초기개발과 성공사례가 소개되었다. AHP 의 적용 분야는 에너지, 자원, 교통, 입지 등을 비롯한 경제문제에서부터, 재무, 금융, 회계, 인사조직, 마케팅, 호텔, 관광 등의 경영문제, 정부, 국방 등의 정치문제, 교육, 안전, 재해, 복지, 도시, 환경, 건설, 보건, 의료, 농업, 체육 등의 사회문제, R&D, 신제품개발, 생산, 제조, 품질, 컴퓨터, 정보 등의 기술문제까지 매우 다양하게 활용되고 있다. AHP 는 복잡한 계획의 수립, 시간적으로 촉박한 상황하에서의 의사결정 지원, 부서간 의견이 대립된 상황에서 종합적인 대응방안 수립 등의 해결이 난해한 문제에 부딪혔을 때, 문제의 속성을 체계적(Systematic), 계층적(Hierarchy)으로 규명하여 문제를 정형화하고 단시간 내에 최상의 정책을 수립하기 위한 기법이다.(참고문헌 1,2)

3) 실감 가시화 의사결정

본 논문에서의 연구는 AHP 의 기본적인 원리를 이용하여 의사결정을 수행하는 컴퓨팅 시스템 및 가시화 방법에 관한 것이다.

종래의 AHP 기법은 중요도를 고려하고자 하는 다수의 데이터 간에 쌍대비교(pairwise comparison)를 행하여 의사결정 테이블을 작성하고, 특정의 계산 절차를 통해 데이터 간의 가장 합리적인 중요도 분포를 검색한다.

	A	B	C	D
A		1/AB	1/AC	1/AD
B	AB		1/BC	1/BD
C	AC	BC		1/CD
D	AD	BD	CD	

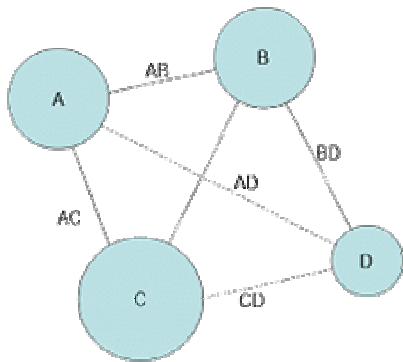
< 그림 1 : 일반적인 AHP 테이블 >

즉, 종래의 AHP 기법은 그림 1 에 도시된 바와 같이 비교인자(A ~ D) 간에 쌍대비교를 수행하여 비교치 AB, AC, AD ... 1/AD, 1/BD, 1/CD 를 결정하고, 이들의 고유벡터 또는 기하 평균을 산출하여 최종적인 중요도 분포를 계산하는 것이 전형적인 절차이다. 그러나, 종래의 AHP 기법은 모든 비교인자간 쌍대비교 연산을 수행하여 각각의 비교치를 결정하고, 이들을 의사결정 테이블에 기입하기 전에는 비교인자들의 상대적 중요도를 계산할 수 없기 때문에, 의사결정을 수행하는 중간 과정에서 중요도 분포의 변화를 예측할 수 없을 뿐만 아니라, 쌍대비교 연산에 대한 비교치의 합리성 정도를 의미하는 일관성 지수(Consistency Index)도 계산할 수 없었다. 따라서 의사결정을 수행하는 중간 과정에서 수행되는 쌍대비교가 합리적인지 알 수 없는 문제점이 있다.

한편, 종래의 AHP 기법은 의사결정 절차가 종료된 후에 새로운 데이터가 입력되면 모든 의사결정 절차를 다시 수행해야 하는 문제점이 있다.

본 연구의 의사결정의 실감가시화는 전술한 문제점을 해결하기 위한 새로운 방법으로서, 다수의

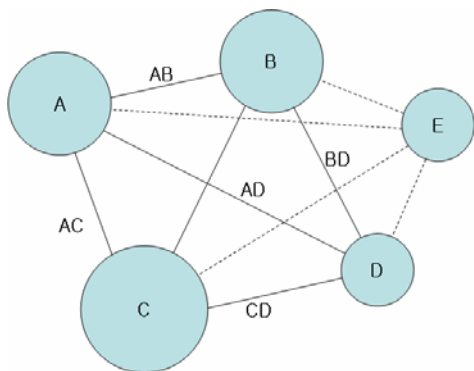
비교인자를 대표하는 원의 기호와 이들간에 결정되는 중요도를 선의 기호로서 디스플레이하고, 비교인자간에 쌍대비교 결과를 입력값으로 하여 중요도 계산을 수행한 후 그 결과를 실시간으로 가시적으로 표현하는 컴퓨팅 환경이다. 아래 그림은 일반적인 AHP 쌍대비교 테이블을 대체하는 본 연구의 의사결정 네트워크를 도시한 것이다. 사용자는 이를 실시간으로 조작하며 의사결정을 진행하게 된다.



<그림 2 : 의사결정 네트워크>

쌍대비교 연산 수행 결과는 원과 선으로 이루어진 의사결정 네트워크상에 디스플레이 되며, 쌍대비교 연산을 통한 비교치와 중요도에 기초하여 이의 합리도를 산출하는 의사결정 방법을 제공한다.

또한, <그림 3>과 같이 1 차적인 의사결정 절차가 완료된 후에 새로 제기된 비교인자가 있을 경우 이를 의사결정 네트워크상에 포함시키고, 추가된 새로운 비교인자에 대해서 쌍대비교값을 결정하게 되면 실시간으로 전체 의사결정 네트워크의 중요도 분포 결과를 얻을 수 있다.



<그림 3 : 새로운 사안의 추가>

4) 일반적인 AHP 의사결정 단계

일반적인 AHP 는 도표를 이용한 계산과정을 이용한다. 우선 아래의 도표와 같은 쌍대비교 테이블을 작성하게 되는데 5 가지의 주요 사안에 대한 쌍대비교를 수행한 결과는 <그림 4>의 예시도표와 같은 형태로 표현된다.

비교인자	A	B	C	D	E
A		1/3	1/3	3	1/5
B	3		1/5	5	1/3
C	3	5		3	1/7
D	1/3	1/5	1/3		1/5
E	5	3	7	5	

<그림 4 : AHP 쌍대비교표 >

여기서 중요도 주체는 열(column)로 배열하였다. 즉, 비교인자 A 는 비교인자 B 에 비해 중요하다고 판단하여 쌍대비교치를 3 으로 결정한 것이다. 이와 같은 방법으로 모든 셀을 채워나가게 된다.

상기 <그림 4>의 값을 기하평균한 결과를 <그림 5>에 도시하였다. 기하평균은 열방향으로 계산하였으며 이의 백분율을 계산하면 중요도 비중이 도출된다.

	A	B	C	D	E
곱(power)	15.00	1.00	0.16	225.00	0.00
기하평균	1.72	1.00	0.69	2.95	0.29
백분율	25.9%	15.0%	10.4%	44.4%	4.3%

<그림 5 : 기하평균 및 중요도 백분율 >

위의 간단한 의사결정 예시의 결과로서 비교인자 A 가 25.9%의 중요도를 갖는 것으로 계산되었다. 이는 곧 의사결정의 결과로서 사안의 최상의 결과를 얻기 위해 비교인자 A 즉, 해결방안 중 A 의 사안에 대하여 전체 자원의 25.9%를 할당하는 것이 최선이라는 의미로 해석할 수 있다.

의사결정의 관점은 계층적으로 표현되어 있으므로 위와 같은 단계를 결정해야 하는 사안의 최고 수준의 Priority Vector 를 구할 때까지 반복하여 최종적인 결과를 얻게 되며, 모든 과정이 종료된 후

최종수준에서의 CR(Consistency Ratio)이 10%를 넘지 않으면 이 분석의 타당성을 인정하는 것이 일반적이다.

5) 일반적 AHP 의사결정의 한계

상기 4)절에서 다룬 의사결정의 중간과정을 가정할 경우 <그림 6>과 같다.

비교인자	A	B	C	D	E
A		1/3	1/3		
B	3		1/5		
C	3	5		3	
D			1/3		1/5
E				5	

<그림 6:쌍대비교의 중간과정 >

위와 같은 경우 4)절에서 다룬 기하평균 계산법으로는 비교인자 A, B, C, D, E의 중요도 분포를 산출하는 의미 있는 방법이 존재하지 않는다. 아직 결정되지 않은 인자를 모두 1로 가정하는 방법이나 주어진 쌍대비교 값들만으로 기하평균을 내는 등의 방법을 생각할 수 있으나 그 결과들이 타당하지 못하다. 그러므로 사용자는 지금까지의 쌍대비교 과정에서 중요도 분포가 어떠할 것인가를 가늠할 수 없으며 결정과정이 어느 정도 합리적이었는가를 검토할 수 없다. 이를 위해서는 기본적인 AHP 프로세스 외에 추가적인 기법이 동원되어야 할 것이며 이의 효용성 측면에서 볼 때 사용자로 하여금 실시간으로 그 과정을 인지할 수 있게끔 하는 것은 또 다른 과제가 될 것이다.

	A	B	C	D	E
A	1	0.3333	0.3333	1	1
B	3	1	0.2	1	1
C	3	5	1	3	1
D	1	1	0.3333	1	0.2
E	1	1	1	5	1
공(power)	9.00	1.67	0.02	15.00	0.20
기하평균	1.55	1.11	0.47	1.72	0.72
백분율	27.9%	19.9%	8.4%	30.9%	13.0%

	A	B	C	D	E
A	1	0.3333	0.3333	0	0
B	3	1	0.2	0	0
C	3	5	1	3	0
D	0	0	0.3333	1	0.2
E	0	0	0	5	1
공(power)	9.00	1.67	0.02	15.00	0.20
기하평균	2.08	1.19	0.39	2.47	0.45
백분율	31.7%	18.1%	5.9%	37.6%	6.6%

<그림 7:중간과정의 계산결과 >

<그림 7>은 상기 두 가지 방법의 중간과정 결과 값을 계산한 것이다. 두 값이 일치하지 않으며 이것이 이론적인 의미를 갖는가를 증명할 수 없었다.

4) 의사결정 실감가시화 프로세스

본 연구에서는 문제 정의단계에서 인자들의 정의 및 검토하고자 하는 의사결정의 관점을 기술한다. 각 인자들의 정의는 원형의 프리미티브를 이용한 독립적인 정보단위 형태로 표시한다. 원의 크기는 그 인자의 중요도를 의미한다. 다음으로 인자들간의 중요도 정의 단계에서 각 인자간의 쌍대비교를 통한 개별 중요도 정의단계를 거친다. 각 인자간의 쌍대비교를 위해 두 개의 인자를 연결하는 직선 프리미티브를 만들고 이를 이용하여 두 인자간의 중요도 관계를 표현하는데, 이 중요도 관계가 쌍대비교치이다. 다음으로 이렇게 정의된 쌍대비교치를 이용하여 인자들의 전체적 중요도 분포를 계산하는 단계를 거치게 되는데 이 단계에서 사용되는 연산 알고리즘은 아래의 식과 같다.

$$P_{n,A} = (P_{(n-1),A} + R(AB) * P_{(n-1),B} + R(AC) * P_{(n-1),C} + R(AD) * P_{(n-1),D}) / 4$$

(식 1)

여기서, $P_{n,A}$ 는 n번째 산출된 A 데이터의 중요도를 나타내며, $R(AB)$ 는 A와B의 쌍대비교치이다. 모든 비교인자들에 대해서 (식 1)과 같이 중요도를 산출한다. 즉, 비교인자 A의 중요도를 산출하기 위해, 각 인자 A, B, C, D의 n-1 번째 중요도가 현재의 A에 이들이 미치는 영향의 정도를 더한 총합을 산술평균하여 중요도를 산출한다. 이것은 물리적으로 원의 팽창으로 모사할 수 있다. 각각의 서로 다른 압력을 갖는 구의 평균 팽창률을 계산하는 것과 유사한 방법이라 볼 수 있다.

위의 계산과정은 하나의 쌍대비교치가 결정 또는 조정되는 순간에 계속적으로 반복계산을 수행한다. 연산횟수 n 이 충분히 크면 각 비교인자는 일정한 값에 수렴하게 되는데, 이 수렴 값을 현재 상태의 중요도 분포로 규정한다. 각 인자들이 수렴값에 충분히 가까워 졌는가를 판단하기 위해 아래의 식을 판단알고리즘으로 사용하였다.

$$P_{n_A} - P_{(n-1)_A} < Z \quad (\text{식 2})$$

여기서 Z 는 n 회 반복연산에 의한 중요도 분포가 의미를 가질 수 있을 만큼 충분히 작은 수이다.

본 연구에서는 상기 계산으로 도출된 결과값이 어느 정도의 합리성을 갖는가를 평가하는 척도로서 합리도(R.T , Rationality Tension)이라는 개념을 규정하여 사용하였다. R.T 는 사용자가 결정한 쌍대비교치에 의해 계산된 중요도와 설정된 비교치와의 편차를 표현한다. 이를 (식 3)과 같은 형태로 표현하였다.

$$K_A = \frac{R(AB) \times P_{n_B}}{P_{n_A}} \quad (\text{식 3})$$

K_A 는 현재 A의 중요도를 B와의 쌍대비교 관계와 비교할 때 나타나는 일치도이다. 이 값이 클수록 현재 도출된 중요도가 사용자가 결정한 쌍대비교 관계로부터 이탈했다는 의미이다. 즉, 그만큼 합리적이지 않은 의사결정이 진행되고 있다는 의미가 된다. 이로써 합리도 R.T를 (식 4)와 같이 규정한다.

$$R.T = \text{Max}\{ K_A, K_B, K_C, K_D \} \quad (\text{식 4})$$

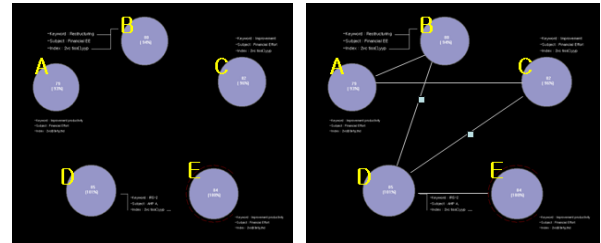
이 값은 기존 AHP 에서의 C.R 에 해당하는 값이다. 의사결정과정에서 R.T 를 고려하며 합리적인 의사결정이 되도록 모니터링 하게 되며 이것이 가능한 것은 R.T 가 의사결정 진행 중 실시간으로 계산될 수 있다는 특징이 있기 때문이다.

쌍대비교가 완료된 시점에서는 (식 3)의 모든 K 값이 같아진다. 즉, 완전히 연결된 의사결정 네트워크는 하나의 K 값을 공유하면서 의사결정이 내포한 모순을 대표하게 된다.

7) 실감 가시화 의사결정 사례

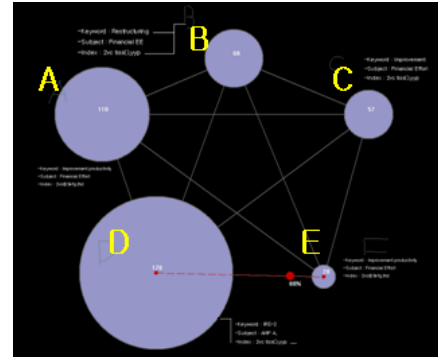
실감가시화 의사결정 프로그램의 개발환경은 Windows 2x, XP 이며 개발 툴은 Visual C++ 6.0 을 사용하였다. 본 프로그램은 기존 컴퓨팅 환경에서 개발 및 운용되고 있으나 HCI 연구의 실질적인

효용성 검증을 위해 KIST 의 지능형 반응공간(IRS, Interactive Responsive Space)에서 구현하였으며 직관적 인터페이스를 지원하는 디스플레이 장치가 구비된 회의실을 적용사례의 환경으로 구성하였다.



<그림 8:의사결정 비교인자 생성>

프로그램상에 원을 생성하면 하나의 비교인자가 정의된다. 이 비교인자의 키워드, 대표정보 및 특징사항들을 기입하여 독립적인 정보단위로 만든다. 이와 같은 방식으로 5 개의 비교인자를 생성하면 <그림 8>의 좌측과 같이 된다. 이들간의 쌍대비교는 우측 그림과 같이 각각의 원을 연결하는 선을 생성하는 것이다.



<그림 9: 인자간 쌍대비교 작업화면>

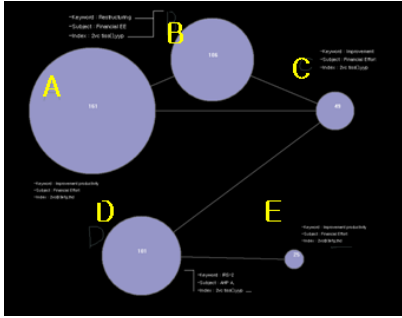
상기 4)절의 의사결정과정과 동일한 작업을 수행한 화면이다. 사용자는 원의 크기를 통해 중요도의 분포를 직관적으로 파악할 수 있다. 또한 쌍대비교치를 실시간으로 조정해가며 중요도 분포가 어떠한 추세로 변하는지 확인할 수 있다. 상기 결과의 수치결과값은 아래와 같다.

A	110	24.9%
B	68	15.4%
C	57	12.9%
D	178	40.4%
E	28	6.3%

<그림 10: 실감가시화 의사결정 결과 >

상기 4)절의 결과와 비교하여 의미 있는 수준의 동일한 결과를 얻었다.

의사결정의 중간결과 모니터링의 예는 <그림 11>에 도시하였다. 기존의 AHP에서 불가능했던 의사결정 과정 모니터링은 실시간으로 반응하는 직관적 디스플레이상에 효과적으로 가시화된다.



<그림 11: 의사결정의 중간단계 화면 >

A	161	36.5%
B	106	24.0%
C	49	11.1%
D	101	22.9%
E	25	5.7%

<그림 12: 의사결정 중간단계 결과값 >

사용자는 의사결정과정에서 중요도 분포의 변화 추세를 고려하여 의사결정 과정에서 내포될 수 있는 비합리적인 부분을 지양할 수 있다.

8) 결론

인간중심의 상호작용은 단순히 조작의 편의성을 추구하는 시도를 넘어 실질적인 생활에 효용가치를 창출하는 연구가 되어야 한다. 이러한 사례로서 다수의 사용자가 주어진 문제를 해결하는 의사결정의 상황에서 직관적이고 새로운 컴퓨팅 환경에 적합한 효율적인 지원수단을 개발하였다. 기존에 사용되어온 고전적 AHP가 갖는 제약을 극복하기 위해 실시간 처리가 가능한 연산 알고리즘을 개발하였으며 실질적인 효용가치를 규명하는 어플리케이션 프로그램을 개발하였다. 이는 물리적 공간과 가상환경을 매끄럽게 연결하는 TSI 환경에 성공적으로 적용되었다.

본 연구에서 제안하는 의사결정 시스템은 표현의 직관성을 추구하여 기존의 수치적인 확인작업보다 실질적 체감화를 구현하였으며 의사결정의 중간단

계를 모니터링하는 의사결정 과정을 지원하여 보다 효과적이고 합리적인 문제해결을 가능하게 하였다. 또한 의사결정 과정의 변화에 즉각적으로 대응할 수 있도록 독립적 정보단위의 실시간 연산 알고리즘을 구현하였다.

본 연구는 다층적 계층구조를 갖는 보다 복잡한 문제해결을 위해 다중 레이어(Multi-Layer) 개념을 도입하여 개발하고 있으며, 그 외의 다양한 종류의 문제해결을 위한 방법론 개발이 진행되고 있다.

<Reference>

T.L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation, McGraw-Hill, NewYork, 1980. pp. 56-57.

Saaty, Thomas L.. (1989) Decision Making, Scaling, and Number Crunching. Decision Sciences, 20, 404-409.

James S. Dyer, "Remarks on the Analytical Hierarchy Process," Management Science, 1990. pp. 249 - 258.

Saaty, T.(1995), 조근태, 홍순욱, 권철신 譯, 『decision making for leaders』, RWS pub.

조근태, 조용곤, 강현수(2003), 『앞서가는 리더들의 계층분석적 의사결정』, 서울 : 동현출판사

이창효(2000), 『집단의사결정론』, 서울 : 세종출판사

M.T.Escobar, J.aguaron, J.M.Moreno-Jimenez, A note on AHP group consistency for the row geometric mean prioritatio, European Journal of Operational Research.

M.T.Escobar, J.aguaron, J.M.Moreno-Jimenez, Consistency stability intervals for a judgement in AHP decision support, European Journal of Operational Research.