# AHP 기법을 이용한 Value Engineering 의사결정기법 연구
## -도심지역 지하철건설공법 사례-

# Application of AHP to Value Engineering Decision Making Analysis
## - Case of subway construction in urban area -

허은녕*, 유창석**, 김영근***

## 1. 서 론

지하철공사를 비롯한 건설공사에서의 공법선정을 위한 의사결정은 전통적으로 기술적인 요인과 직접적인 건설비용의 평가위주로 이루어져 왔으나, 최근 정부는 건설사업 타당성에 대한 객관성의 확보 및 진행과정의 비효율 요인 제거를 통한 생산성 및 효율성 향상을 위하여 공공사업 효율화 종합대책 자료집(1999)을 발간하고 설계의 경제성 검토 등을 포함하는 건설기술관리법 시행령(2000)을 발표하는 등 효율성 및 경제성을 강조하고 있다.

이러한 노력에 의해 국내에서는 VE(Value Engineering)이나 LCC(Life Cycle Cost) 등 건설공법 선정에 대한 의사결정 기법의 도입이 시도되고 있다. VE는 산업분야에서 비용절감 및 품질관리를 위해 사용되는 방법론으로서, 분석 대상의 기능을 주요 기능 및 그에 부가되는 기능으로 분해하여 주요한 요소에 있어서 품질과 신뢰성 및 성능이 고객의 기대치를 만족시키면서 불필요한 비용을 감소시키는 것을 목적으로 하고 있다. (Dell'Isola, 1997) VE는 관련된 전 영역의 전문가로 구성된 팀을 바탕으로 분석을 수행하며, 이러한 전문가 팀이 효율적으로 원하는 성과를 얻을 어 사용되지 못하고 있는 실정이다. 수 있도록 잘 구축되어 있는 방법론이다.

VE는 기능 분석을 통하여 비용 감소 및 그에 따른 대안을 도출해내고, 이러한 대안을 적절한 평가 방법을 사용하여 평가한다. 일반적으로 이러한 평가 방법은 LCC나 정성적 평가(Analysis Matrix)를 주로 사용하고 있으나, 평가항목간의 가중치 산정에 있어서 독립성 및 정확도 등에서 여러 문제점들을 보이고 있다.

본 논문에서는 의사결정요인들의 계층적인 분석이 가능한 최신설문분석기법인 AHP (계층분석적 의사결정방법)을 이용, 도심지역 지하철 건설과정에서의 터널건설공법 설계 적용사례를 통하여 건설공법선정시의 Value Engineering 의사결정기법을 개선하여보고자 한다.

* 서울대학교 지구환경시스템공학부 조교수 (E-mail:exheo@plaza.snu.ac.kr)
** 서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정
*** 삼보기술단 지반공학부 부장 (E-mail:babokyg@hanmail.net)

## 2. AHP(Analytical Hierarchy Process)를 이용한 기술평가기법

VE 에서의 대안 선정 방법은 일반적인 대안 평가와 마찬가지로 정성 평가와 정량 평가로 나누어진다. 건설분야에 있어서 VE의 경우 정량 평가로는 LCC를, 정성 평가로는 Analysis Matrix를 이용한 가중평가 방법을 사용한다(Dell'Isola(1982)). Analysis Matrix를 이용한 평가 방법은 쌍대비교를 근간으로 한 Multiple Criteria Decision을 사용하는 방법으로 일반적으로 사용되는 단순가중평균 방법과는 가중치 도출 과정에 큰 차이가 존재한다. 일반적인 평가에서 전문가들이 자신의 기준에 따라 설정한 점수를 정규화하여 가중치를 도출하는 반면, Analysis Matrix는 각 criteria에 대한 가중치를 쌍대비교를 통하여 수행한다. 즉, 두 가지 평가 요소가 존재할 경우 어느 것이 뛰어난지 우열을 가려서 점수를 도출하는 것이다. 이러한 방법은 각 평가 요소간의 상대적인 차이를 강조하며, 가중치 도출 과정이 공개되기 때문에 객관적인 평가를 가능하게 한다.

하지만, Analysis Matix 방법은 몇 가지 큰 제약을 가지고 있다. 첫째, Analysis Matrix는 가중치에는 쌍대비교를 사용하고 있지만, 실제 점수 도출에 있어서는 일반적인 점수 부여 방법을 택하고 있다. 따라서, 비록 가중치에서는 객관성을 상당히 확보하였지만, 평가에 있어서 이러한 장점이 사라지게 된다. 두 번째, 기존 방법은 평가 자체가 건전하게 진행되었는지, 평가 결과가 신뢰할만한지 검증할 수 있는 도구를 가지고 있지 않다. 평가자가 불성실하거나, 평가의 구조 자체가 잘못 설정되었을 경우 평가 결과는 심각하게 왜곡된다. 세 번째로 Analysis Matrix의 쌍대비교 방법은 Scale Factor가 한정적이고 명확하지 않기 때문에 평가가 민감하지 못하고 제한적이다. 반면에 정량적 평가 방법인 LCC의 경우 정성적 요소들이 반영되지 못할 뿐만 아니라, 비용을 고려함에 있어서 사회적 비용 및 위험비용이 평가에 포함되지 않는다라는 한계를 가지고 있다.

**표 1. 기존 평가방법론의 문제점 및 새로운 의사결정기법의 제안**

| 구 분 | 문 제 점 | | 개 선 방 안 | |
|---|---|---|---|---|
| VE 정성평가 (Matrix평가) | 민감도 문제 | • 절대적인 평가 점수 체계는 평가에 있어서 객관성을 유지하는 데 한계 | 쌍대비교 평가 고유백터 추출 | AHP를 이용한 기술평가 기법 |
| | 정확도 문제 | • 기존 평가체계는 평가결과에 대한 신뢰성을 단지 전문가의 의견에만 의존 | Consistency Index | |
| | 독립성 문제 | • 평가에 있어서 각 요소에 대한 이해가 평가자마다 다를 수 있다. | Hierarchy Structure | |
| 비용평가 (LCC) | 기업의 시각 | • 기업의 이익의 최대화를 추구하므로 사회적 비용을 고려하지 않는다. | 사회적 비용 도출 | Life Cycle Social Cost Analysis |
| | 위험도 문제 | • 대안에 따라 차별화된 위험도가 평가에 반영되지 않는다. | 위험 비용 도출 | |
| 가중평가 | 종합 분석 | • 정성평가와 비용평가를 효과적으로 결합하지 못하고 있다. | Value Index 도입 | |

## 3. AHP평가 개요

AHP(Analytical Hierarchy Process, 계층분석적 의사결정방법)는 Saaty(1980)에 의해 개발된 방법론으로서, 정성적인 정보를 바탕으로 한 대안 평가에 있어서 의사결정자가 내재하고 있는 정보를 조직적으로 도출하여 이를 기반으로 대안간 상호 관련성을 고려해서 평가할 수 있는 방법이다. AHP도 multiattiribute value를 반영하는 방법이기는 하나, 일반적인 간단한 MAV와 가장 큰 차이점은 무엇보다도 평가과정 내에서 구조적으로 평가에 대한 일관성 및 신뢰도를 검정할 수 있다는 것이다. 하지만, MAV와 비교했을 때 AHP는 평가모형이 복잡하고 커질 경우 매우 많은 수의 쌍대평가를 수행하여야 한다라는 한계를 지니고 있다. (Belton, 1986)

AHP는 매우 실용적이고 널리 사용되는 방법론이나, 그 이론적 배경 및 적합성에 대해 많은 비판이 이루어져왔다. Watson, and Freeling(1982)는 AHP가 쌍대비교를 수행함에 있어서 가중치를 도출하기 위해 의사결정자에게 무의미한 질문들 (예를 들면 이 두 기준 중 어느것이 더 중요하다고 생각하십니까? 그 차이가 얼마나 됩니까?)을 묻고 있다고 비판하였다. Belton and Gear(1983, 1985)와 Dyer(1990)는 AHP가 가지고 있는 이론적 배경의 부재와 함께, 대안 평가에서 발생하는 순위 변경의 문제를 지적하였다. 하지만, 이러한 지적들에 대해 Harket and Vargas(1987) 및 Perez(1995)는 이러한 지적들에 대해 이론적 기반을 바탕으로 하여 AHP가 탄탄한 이론적 기반을 가지고 있으며, 유용하고 신뢰할만한 방법론임을 밝혔다. 무엇보다도 AHP는 전문가 집단을 기반으로 한 집단 의사 결정을 강력하게 지원하는 방법론이기 때문에 VE와 같은 방법론에서 기존의 간단한 MAV보다 뛰어난 평가 결과를 보이게 된다. [2]

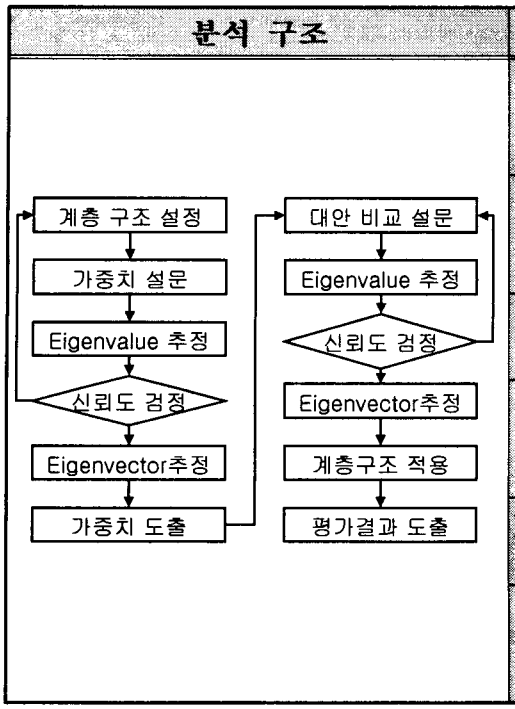
Saaty(1980)은 평가 방법을 7단계로 나누어서 제시하고 있지만, 이를 실제 분석 프로세스로 다시 쪼개어보면 [표 2]와 같이 나누어진다. AHP에서 특징적인 것은 계층 구조의 사용과 고유벡터를 통해 정규화된 쌍대비교의 가중치 분석, 그리고 고유값을 통한 설문에 대한 신뢰도(consistency) 검정이다.

AHP를 평가에 적용하면 의사결정자가 가지고 있는 경험뿐만 아니라 기타 다른 평가 고려 요소들을 보다 더 객관적으로 평가에 반영할 수 있게 된다. 따라서, AHP는 다양한 경영의사결정 및 신기술 평가 등 민감한 분야에 많이 쓰이고 있다. 건설분야에 있어서는 Skibniewski et al(1992)이 다리 건설의 대안분석에 AHP를 적용하였고, Dey and Tabucanon(1996), Dey(2002)는 파이프라인 건설에 AHP를 적용한 사례가 있다. 본 논문에서는 VE의 대안 분석 방법의 하나로서 AHP를 적용하였고, 도심지를 통과하는 지하철 건설 공법의 VE 대안 선정을 바탕으로 AHP를 실증 분석하였다.

---

1) Al-Harbi, Kamal M. Al-Subhi, (2001), "Application of AHP in Project Management," International Journal of Project Management 9, p.20

표 2. AHP 분석구조 및 분석단계별 특성 의사결정기법의 특성




- 평가 요소를 유기적으로 연결하여 상부 계층이 아닌 하부 계층으로 평가 요소를 세분화
- 절대비교가 아닌 쌍대비교를 통하여 평가자의 대안 평가에 대한 민감도를 극대화
- 설문결과에 대한 매트릭스의 특성을 도출
- 매트릭스 특성을 바탕으로 설문결과 및 계층 구조에 오류는 없었는지 점검
- 매트릭스의 특성을 바탕으로 쌍대비교 결과를 가중치로 전환
- 하부 계층에서 수행된 평가 결과를 상부 계층까지 끌어올려서 평가 결과를 도출

## 4. 평가가설계층구조 설정 및 가중치 매트릭스 산정

삼보기술단 및 D건설과 도심지 지하철 구간에 대한 지하철건설 설계에 대해서 VE를 진행한 결과, 비용 절감의 대안으로서 도심지를 통과하는 지하철 건설공법의 선정이 매우 중요하게 나타났다. 세부적인 지하철 공법에 있어서 매우 다양한 공법이 존재하나, 실제 의사결정구조에서 선택, 결정할 공법 대안의 이름은 일반적인 지하철건설공법의 분류에 따라 지상에서부터 굴착해 들어가는 방식인 개착공법과 터널의 굴착을 통하여 자하에서 주로 작업이 이루어지는 터널공법을 선정하였다.

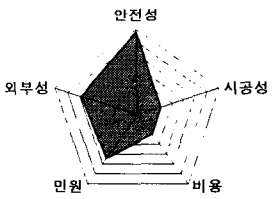
일반적으로 지하철이 지상 50m 이하로 건설될 때에는 당연히 터널 공법이 안전하다고 알려져 있으나, 분석대상의 경우 지하 30m 내외에서 대부분의 공사가 이루어지며, 지반이 불안정한 면도 보이고 있다. 이러한 경우에 구간별 안전성과 비용에 있어서 개별적인 평가가 필요하였다. 따라서, 평가에 있어서 구간을 8구간으로 나누었고, 그 중 구간 특성이 비슷한 구간을 통합하여 5개 구간에 대해 AHP 분석을 실시하였다. 본 발표에서는 그 중 한 구간에 대한 AHP 분석 결과만 제시하였다. 평가에 있어서 가설계층구조는 기존의 일반적인 터널 공법에 대한 VE의 MAV 분석 결과 및 Skibniewski et al(1992)을 참조하였다.

설문의 분석 결과 주기능 항목별로 산정된 가중치는 [표 4]와 같다. 쌍대비교의 가중치에 대해서 신뢰도 검증결과 CI(Consistency Index)값이 0.099로 Saaty(1991)가 제안한 한계치 0.11보다 작아 설정된 가중치의 적합함을 알 수 있다.

**표 3. 평가가설계층구조 설정**

| 주기능 | 부기능 |
|---|---|
| 1. 안전성을 최대화한다. | ① 공법 및 구조물의 형태가 지반조건에 적절하고, 구조적인 안전성을 최대화 |
| | ② 공법에 따른 주변 건물의 안전성을 최대화 |
| | ③ 공사장 내에서의 안전성(공사장(작업장)에서의 안전사고 등 예방)을 확보 |
| 2. 시공/유지/보수 및 관리를 최대한 원활히 한다. | ① 시공 경험 및 관련 자료가 풍부 |
| | ② 공사 중 지반 조건의 변화에 대한 대응이 용이 |
| | ③ 공정을 단순 명료하여 시공이 편리 |
| | ④ 유지 및 보수 작업이 원활 |
| 3. 직접 비용을 최소화한다. | ① 총공사비(초기 공사비 + 유지 관리비)를 최소화 |
| | ② 초기 공사비(시공비)를 최소화 |
| | ③ 유지 관리비를 최소화 |
| | ④ 공사 기간을 단축 |
| 4. 민원 발생을 최소화한다. | ① 공사중 진동 발생으로 인한 시민들의 민원을 최소화 |
| | ② 공사중 먼지 발생으로 인한 시민들의 민원을 최소화 |
| | ③ 공사중 소음 발생으로 인한 시민들의 민원을 최소화 |
| | ④ 사유지 침범 혹은 도로 점용을 최소화 |
| 5. 외부성을 최소화한다. | ① 공사장 주변 교통 장애를 최소화 |
| | ② 공사장 주변 도보 통행 불편을 최소화 |
| | ③ 공사장 주변 거주민들의 불편(소음, 진동, 먼지)을 최소화 |
| | ④ 공사장 주변 상가 및 업체의 소득 감소를 최소화한다. |

**표 4. 설문조사를 통한 가중치의 산정결과**

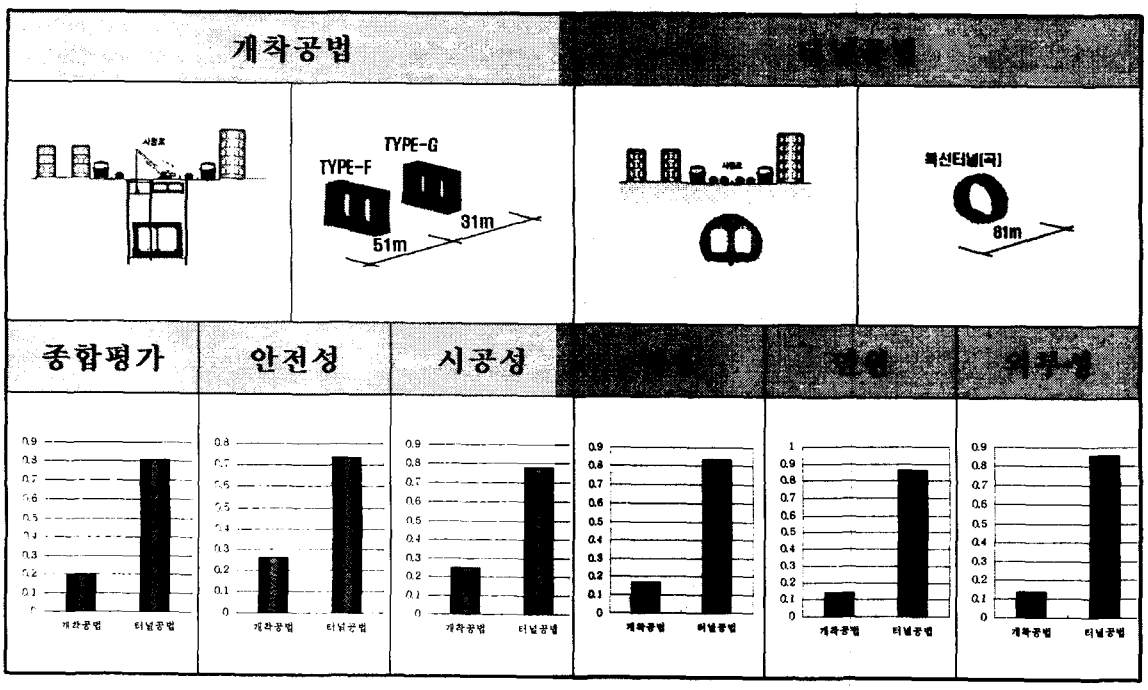
| 가중치 메트릭스 | | | | | | 고유값 | 고유벡터 (가중치) | | 가중치 개요도 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 안전성 | 시공성 | 비용 | 민원 | 외부성 | | 안전성 | 0.34 |  |
| 안전성 | 1 | 1.6 | 2.8 | 2.2 | 2.6 | $\lambda$ = 5.4 | 시공성 | 0.10 | |
| 시공성 | 1/1.6 | 1 | 1/1.4 | 1/3 | 1/2.4 | | 비용 | 0.10 | |
| 비용 | 1/2.8 | 1.4 | 1 | 1/3.9 | 1/2 | | 민원 | 0.22 | |
| 민원 | 1/2.2 | 3 | 3.9 | 1 | 1/2.2 | | 외부성 | 0.24 | |
| 외부성 | 1/2.6 | 2.4 | 2 | 2.2 | 1 | | | | |

## 5. 건설공법 비교안의 설정 및 AHP 평가결과

지하철 건설 예정구간의 공법결정에 있어서 개착공법을 적용할 것인지 혹은 터널공법을 적용할 것인지에 대하여 각 대안을 정리하여 대안에 대해 전문가 50인에게 쌍대비교를 수행하였다. 이 때, 구간의 중가로 이하여 질문의 개수가 늘어나게 되는 데에 따른 부담으로 인하여, 전문가들이 구간 및 공법에 대해 완벽히 이해하고 있으며 쌍대비교에 모순이 없을 것이라는 가정 아래 중복되는 항목에 대한 쌍대 비교는 생략하였다. 이러한 비교분석에 따른 대안들의 평가 결과는 다음 [표 5]와 같다.

안전성부터 외부성에 이르기까지 모든 주기능 항목에 있어서 터널공법이 더 좋은 평가를 받았다. 항목별로는 안전성이 가장 작은 차이를, 민원이 가장 큰 차이를 보였다. 안전성, 민원 및 외부성의 경우는 건설구간이 도심부분이며 개착공법이 지상에서 주로 공사가 이루어지는 반면 터널공법의 경우 지하에서 진행된다는 점이 주요 원인으로 추정된다. 그 반면 시공성과 비용의 경우에도 개착공법보다 터널공법이 우세하게 나온 것은 설문대상 전문가들의 특성상 우리나라의 터널공법 기술수준에 대한 자부심의 표시라고 해석되나 또한 현재 개착공법 위주로 결정과 시공이 이루어지고 있는 우리나라의 지하구조물 건설에 대하여 많은 개선점이 있음을 보여주고 있다.

표 5. 대안분석 결과



## 6. 결 론

VE나 LCC등의 의사결정기법은 최근 건설공법의 선정과정에서 빈번히 사용되고 있으나 여전히 많은 문제점들을 내표하고 있다. 본 연구에서는 기존의 VE 의사결정기법의 문제점 분석을 통해 본 연구에서는 지하철 건설과정에 발생하는 사회적 비용을 고려한 건설공법선정 의사결정기법의 개선안([그림 1])을 도출하고, 이 중 정성평가 부분을 AHP기법을 이용, 터널건설공법결정시의 설계적용사례를 통하여 보다 효과적이고 객관적인 의사결정기법을 제안하였다.

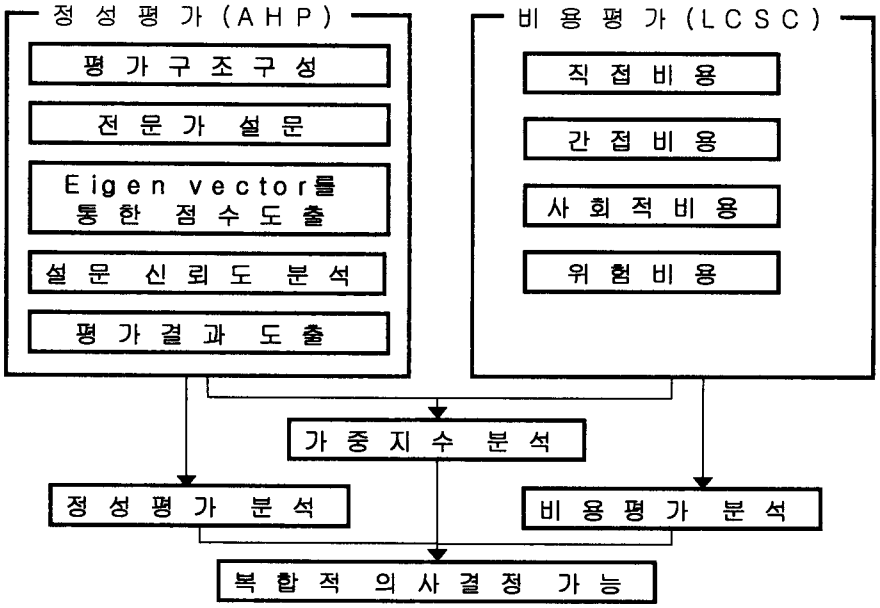



**그림 1. 의사결정기법의 구조**

## Reference


공공투자관리센터 한국개발연구원 「 2000년도 예비타당성조사 연구보고서, '철도부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 연구' (개정판)」

건설교통부 2002. 1 「공공교통시설개발사업에 관한 투자 평가 지침」

도로교통안전협회 1999.「98 교통사고 통계분석」 P.255

건설교통부 2000,「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙」

김태유 외, 1997「전력 산업의 사회적 비용에 관한 연구」한국전력공사

Al-Harbi, Kamal M. Al-Subhi, (2001), "Application of the AHP in Project Management," *International Journal of Project Management 19,* 19-27

Belton, V., T. Gear (1983), "On a Shortcoming of Saaty's Method of Analytical Hierachy," *Omega 11, 3,* 228-230

Belton, V., T. Gear (1985), ";녀 Legitimacy of Rank Reversal - A Comment" *Omega 13, 3,* 143-144

Belton, V. (1986), "A Comparison of the Analytic Hierarchy Process and a Simple Multi-attribute Value Function," *European Journal of Operational Research 26,* 7 - 21

Dell'Isola, Alphonse (1997), *Value engineering, practical applications for degine, construction, maintenance & operations,* RSMeans, Kington

Dyer, J. S. (1990), "Remarks on the Analytical Hierarchy Process," *Management Science 3,* 249-258

GangaRao, Ward & Howser (1988), "Value Engineering Approach to Low-Volume Road Bridge Selection," *Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 114, No. 9,* 1962~1977

Harker, P. T., L. G. Vargas (1987), "The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's Analytic Hierarchy Process," *Management Science 33, 1,* 1383-1403

Perez, J. (1995), "Some Comments on Saaty's AHP," *Management Science 41, 6,* 1091-1095

Saaty, T. L. (1980), *The Analytic Hierarchy Process,* New York, McGrawHill

Saaty, T. L. (1985), *Decision Making for Leaders,* Belmont, California, Life Time Learning Publications.

Saaty T. L. (1991), *Prediction, Projection and Forecasting,* Kluwer Academic Publishers, Boston, 1991

Skibniewski, Mirolaw, Li-Cung Chao, (1992), "Evaluation of Advanced Construction Technology with AHP Method," *Journal of Construction Engineering and Management Vol. 118, No. 3,* 577~593

Watson, S. R., D. M. Buede (1987), *Decision Synthesis: the Principles and Practice of Decision Analysis,* Cambridge, Cambridge University Press