

메카트로닉스 환경하의 R&D System의 퍼지프로젝트 일정계획 -Fuzzy Project Scheduling of the R&D System under the Mechatronics Environment-

이 근 회*
이 재 성**
주 일 권***

Abstract

The Existing Project schedulings are mathematical nodes upon which probability control is based. In fact, under the mechatronics environment in the new product design and development, statistical information is very poor or sometimes non-existent. Probabilistic PERT/CPM methods are not always satisfying because those methods suppose that it is possible to apply central-limit theorem and there exists a critical path which is much more critical than all the other paths. Fuzzy project scheduling is possibility based scheduling. For this reason, the Fuzzy Project Scheduling is essential to design, development and control the new product under the mechatronics environment. This paper deals with a modeling on the project scheduling which use fuzzy set theory. Fuzzy concepts in the project scheduling are shown to be very useful and easy to work with in the R & D system.

1. 서 론

기존의 전통적인 수리계획법은 시스템을 정의하는 모든 제약조건의 경계가 분명한 것으로 간주한다. 그러나 시스템 분석의 특성상 완벽한 시스템의 정의는 불가능에 가깝다는 것이 주지의 사실이다. 특히 산업시스템의 경우 그 구성 자체가 복잡하고 커짐에 따라 전통적인 수리계획법의 모형화에 의한 단일의 해라는 것이 현실적으로 의미가 없다. 무수히 많은 변수에 미지의 부분이 많은 시스템을 종래의 확률적이론으로 취급하려 한다면 미지의 부분을 시스템의 외부환경으로 간주하거나 또는 많은 노력을 기울여 할 것이다. 전자의 경우는 아무리 엄밀한 해석을 시도해도 본질과 동떨어진 결론이 도출될 가능성이 많다. 그리고 후자의 경우는 현실적으로 실시간제어(real time control), 급변하는 산업환경 등과 같은 이유로 인하여 많은 문제점을 내포할 가능성이 있다. 따라서 이러한 기업환경하에서 정보의 부족으로 인한 무리가 따르는 모형화 보다 계획과 시스템분석의 모호성을 고려하여 관리를 하는 것이 더 타당하다고 볼 수 있을 것이다. 전자산업 분야 및 공장자동화 분야의 경우 일본등과의 무역적자 폭이 더 커지고 있다. 또한 이에 따른 기술료의 지불 등으로 인하여 국제시장 및 국내시장에서 경쟁력을 상실해 가고 있다. 이러한 원인중의 하나가 바로 핵심기술의 보유 부족이다. 그래서 국내에서도 핵심기술 확보를 위한 프로젝트를 진행하고 있지만 예기치 못한 많은 애로 요인들이 발생하고 있다. 예를들면 날로 정밀성을 더해가는 기기들의 기구해석 및 메카트로닉스(mechatronics)화 추세에 따른 복잡한 소프트웨어, 하드웨어 개발의 어려움과 제어기(controller)분야의 정보부족 등이다. 이러한 연구개발 환경에서 확률 개념으로 프로젝트 완료일정을 예측하면 크게 빔나갈 수 있다. 왜냐하면 프로젝트 진행과정 중 핵심기술에 대한 자료부족으로 인하여 확률적 계산이 불가능하게 된다. 이러한 경우 프로젝트 관리자는 자신의 주관과 참가 연구원들의 의견을 토대로 그 프로젝트가 완료될 가능 시점을 예측하여 일정관리를 하게 될 것이다. 본 논문은 시스템의 외부환경과 시스템을 명확하게 구분할 수 없는 경우 그리고 기존 확률적 사료가 부족한 프로젝트에 퍼지집합론을 이용한 일정관리의 모형화를 시도한다. 기존 자료의 부족과 기술개발의 어려움을 고려하고 전문

*한양대학교 산업공학과 교수

**대우전자(주) 특산공장 생산관리과장

***대우전자(주) 생산기술연구소 연구원

접수 : 1991. 10. 28.

가들의 지식과 경험을 토대로 퍼지개념을 프로젝트 일정관리에 도입하여 급속하게 변하는 기술개발 환경에 유연하게 대응해 갈 수 있는 관리방안을 강구해 보고자 한다.

2. 가정 및 기호설명

- T_1 : start node ①에서의 시작시간
- \oplus : 두 퍼지집합간의 퍼지 덧셈연산
- T_{ij} : $T_i \oplus t_{ij}$
node ①를 거쳐서 node ②에 도착하는 path의 duration time
- T_i : node ①까지의 duration time
- t_{ij} : node ①에서 node ②로 가는데 소요되는 과업 소요시간
- A : start node ①과 node ②가 연결되기까지 거치는 최대 arc 수

본 논문에서 주어지는 activity time은삼각 퍼지숫자(triangular fuzzy number)에 의한 가능성 분포로써 주어진다고 가정한다. activity time data는 다음과 같은 멤버십함수에 의해서 주어진다. 실제 프로젝트 관리에 있어서는 보다 정밀한 멤버십함수를 이용할 수도 있다.

$$\begin{aligned} \mu_T(t) &= 0, & t < t_1 \\ &= \frac{t-t_1}{t_2-t_1}, & t_1 \leq t \leq t_2 \\ &= \frac{t_3-t}{t_3-t_2}, & t_2 \leq t < t_3 \\ &= 0, & t_3 \leq t \end{aligned}$$

이때,

$$\lim_{t \rightarrow -\infty} \mu_T(t) = 0$$

이다.

[정의 1]

- 만약 $x_1 > y_1$ 이고 $x_2 > y_2$ 일 때 $x_1 * x_2 > y_1 * y_2$ 이다.
- 실수상의 임의의 두 원소간의 임의의 연산 $*$ 는 증가된다고 말한다.
반대의 경우로 만약 $x_1 > y_1$ 이고 $x_2 > y_2$ 일때 $x_1 * x_2 < y_1 * y_2$ 이다.
- 실수상의 두 원소간의 연산 $*$ 는 감소된다고 말한다.
자태의 확장원리를 이용하여 연산 $*$ 은 퍼지연산으로 확장될 수 있다.

[Lemma 1]

X, Y 가 각각 연속퍼지 숫자의 집합이고, 연산 $*$ 를 연속 증가 이산 연산이라고 하자. 그리고 각각의 멤버십 함수의 비감소부분을 $[a, b], [c, d]$ 라 하고, 이 때 X 와 Y 의 원소 x 와 y 가 $\forall x \in [a, b] \forall y \in [c, d], \mu_x(x) = \mu_y(y) = \omega$ 일 때 연산에 의한 새로운 원소 z 는 $\forall z \in [a \oplus c, b \oplus d], \mu_x \oplus Y(z) = \omega$ 이다.

[Theorem 1]

x 와 y 가 연속 퍼지숫자이고, x 와 y 의 멤버십함수들이 그 구간에서 1:1 대응으로 존재하고 $*$ 가 연속증가 이산(二算) 연산일 때 확장연산에 의한 $x \oplus y$ 또한 연속 퍼지숫자이고 멤버십 함수 또한 연산에 의한 구간에서 1:1 대응으로 존재한다. $x \oplus y$ 를 계산할 때 Lemma 1에서 소개한 절차에 의해 $\mu_x(x)$ 와 $\mu_y(y)$ 를 증가부분과 감소부분으로 나누어 계산할 수 있다.

3. 삼각 퍼지숫자의 덧셈연산⊕

삼각 퍼지숫자사이의 덧셈연산은 다음과 같이 할 수 있다.

단계 1. 임의의 두 퍼지집합들을 각각 비감소 부분에 속한 원소들로 이루어진 부분집합과 비증가 부분에 속한 원소들로 이루어진 부분집합으로 양분한다. 기울기가 0인 부분은 비감소 부분 사이에 있을때는 비감소부분 집합에 포함시키고 비증가 부분 사이에 있을때는 비증가 부분 집합속에 포함시킨다. 그리고 비감소 부분과 비증가부분 사이에 존재할 때는 양 부분집합 모두에 포함시킨다.

단계 2. ⊕연산: 단계(1)에서 같은 종류의 부분집합에 속한 두 퍼지 부분집합의 모든 원소들 간에 퍼지 연산 ⊕을 실행한다.

단계 3. 합집합: 단계(2)에서 실행한 결과에 의해서 새로 생성된 여령 퍼지집합들의 합집합이 덧셈연산⊕의 결과가 된다.

4. Flattening Effect

X, Y, X', Y': 실수 구간 I상의 퍼지집합

$\mu_X(I), \mu_Y(I)$: 구간 I상에서 X와 Y가 갖는 멤버십 함수값의 범위

$\mu_X(x), \mu_Y(y)$: X, Y의 원소 x, y가 갖는 멤버십 함수값

X와 Y를 실수구간 I상의 퍼지집합이라 하고 각각의 멤버십 함수값의 범위가 $\mu_X(I)=[0, \omega_X], \mu_Y(I)=[0, \omega_Y]$ 라 하자.

그리고 X와 Y의 원소 x, y가 갖는 멤버십함수값이 $\mu_X(x)=\text{Min}\{\mu_X(x), \text{Min}(\omega_X, \omega_Y)\}$ 이고 $\mu_Y(y)=\text{Min}\{\mu_Y(y), \text{Min}(\omega_X, \omega_Y)\}$ 인 새로운 퍼지 집합 X'와 Y'를 생각해 보자. 때 Y가 X'와 Y'로 flattening 되었다고 말한다. flattening 효과를 X와 Y에 적용시키면 서로 다른 높이(height)를 가졌던 두 퍼지집합이 같은 높이를 갖게 된다. 이것을 top flattening effect라고 한다. 이 효과가 필요한 이유는 퍼지 정규화가 이루어지지 않은 두 퍼지 집합 사이에서 어떤 퍼지 연산을 수행하기 위해서는 우선 정규화가 이루어져야 하기 때문이다. 퍼지 정규화란 임의의 퍼지집합에 속한 원소중 적어도 하나의 원소가 자신의 멤버십 함수값으로 1을 갖는 것을 의미한다. 이때 멤버십 함수값의 범위는 [0, 1]이다. flattening 이후에는 높이가 1이 아닌 $\text{Min}\{\mu_Y(y), \text{Min}(\omega_X, \omega_Y)\}$ 로 설정되어 임의의 퍼지집합에 속한 한 원소의 멤버십 함수값이 이 값을 가지면 정규화되었다고 말한다. 즉 멤버십 함수값의 범위가 $[0, \text{Min}\{\mu_Y(y), \text{Min}(\omega_X, \omega_Y)\}]$ 가 된다.

그리고 만약 $\mu_X(I)=[0, \omega_X]$, 이고 $\mu_Y(I)=[\omega_Y, 1]$ 이고 $\omega_X < \omega_Y$ 이면 그때 $x \oplus y$ 에 의한 모든 z에 대해 $\mu_{x+y}(z)=\sup_{x \oplus y = z} \mu_X(x)$ 이다. 단 $S = \{x \in I, \exists y \in I, x \oplus y = z\}$ 이다.

5. 과업 소요시간

논문에서 주어지는 과업 소요시간의 멤버십 함수값은 삼각 퍼지숫자로 가정한다. 그러나 현실적으로는 멤버십 함수값이 반드시 삼각 퍼지숫자로써 나타나는 것은 아니다. 즉 각각의 과업 소요시간이 다각형의 함수 또는 곡선에 의해서 나타날 수도 있다. 이것은 오히려 그 시스템을 잘 알고 있는 전문가가 여러 요인들을 고려하여 과업 소요시간의 멤버십 함수값을 입력할 수 있다는 것을 의미한다. 그리고 일반적으로 프로젝트 진행과정에서 예기치 못했던 요인으로 인하여 과업 소요시간이 감소되기 보다는 증가하는 경우가 더 많을 것이다. 즉 normal point를 t_2 라고 가정했을 때 양쪽의 퍼지정도는 구간 $[t_1, t_2]$ 보다는 구간 $[t_2, t_3]$ 가 더 심할 것이다.

본 논문에서 주어지는 초기 과업 소요시간은 다음과 같이 표기한다.

$$t_{ij} = \left(\frac{0}{t_1}, \frac{1}{t_2}, \frac{0}{t_3} \right)$$

즉, node ①에서 node ②까지걸릴 시간이 t_1 일 정도는 0이고 t_2 까지 선형적으로 증가하여 t_2 일 정도는 1이 되고 t_3 까지 선형적으로 감소하여 t_3 일 정도는 0이라는 형태로 간주한다. 위와같은 형태의 과업 소요시간은 퍼지

덧셈 연산을 거치는 과정 속에서 다음과 같은 형태로 표시가 될 것이다.

$$T_i = \left(\frac{0}{t_1}, \frac{\mu_{T_i}(t_2)}{t_2}, \frac{\mu_{T_i}(t_3)}{t_3}, \dots, \frac{0}{t_n} \right)$$

즉 부분적으로 연속적인 직선에 의하여 퍼지 과정 소요시간이 표시될 것이고 마지막 결과 또한 T_i 와 같이 나오게 될 것이다. 어떤 경우는 t_{ij} 가 다음과 같을 수 있다. 즉

$$T_i = \left(\frac{0}{t_1}, \dots, \frac{\mu_{T_i}(t_k)=k_1}{t_k}, \frac{\mu_{T_i}(t_3)=k_2}{t_k}, \dots, \frac{0}{t_n} \right)$$

이 경우 첫번째 t_k 의 멤버십함수값은 $\lim_{t \rightarrow t_k^-} \mu_{T_i}(t) = k_1$ 이고 두번째 t_k 의 멤버십함수값은 $\lim_{t \rightarrow t_k^+} \mu_{T_i}(t) = k_2$ 가 된다.

6. 수리전개(Algorithm)

step 1 (초기화)

numbering

$A=0$

$T_i = (0, 0, 0)$

$\Delta_{ij} = -1$ 연결 (node ①와 ①가 직접 연결되어 있을 경우)

-0 비연결 (node ①와 ①가 연결되어 있지 않을 경우)

(단, node ① = 1, 2, 3, ..., N, node ② = 1, 2, 3, ..., N, ① < ②)

Step 2 $A=A+1$

do while $A \in \text{node } ①, A_j$

step 2-1 If node ①로 들어오는 node ①가 하나

If T_i 가 normal

then $T_j = T_i \oplus \Delta_{ij} t_{ij}$

else T_i 를 flattening 후 $T_j = T_i \oplus \Delta_{ij} t_{ij}$

Endif

step 2-2 Elseif node ①로 들어오는 node ①가 둘 이상

If T_i 가 normal이 아니면 $\exists T_i$

then T_i 를 flattening 후 $T_j = \text{Min}_{A_j}(T_{ij} = T_i \oplus \Delta_{ij} t_{ij})$

else $T_i = \text{Min}_{A_j}(T_{ij} = T_i \oplus \Delta_{ij} t_{ij})$

Endif

Endif

step 2-3 If step 2-1, step 2-2의 과정 후 현 A 이전의 A에 속하는 모든 임의의 node ①에서 나가는

arc가 없는 경우

then node ①를 scan

Endif

step 3 If 모든 node가 scan

then 결과치를 출력하고 종료

else go to step 2

7. 수치예제

그림 1은 삼각 퍼지숫자에 의해 주어진 activity time을 퍼지연산에 의하여 계산하기 위한 수치이다.

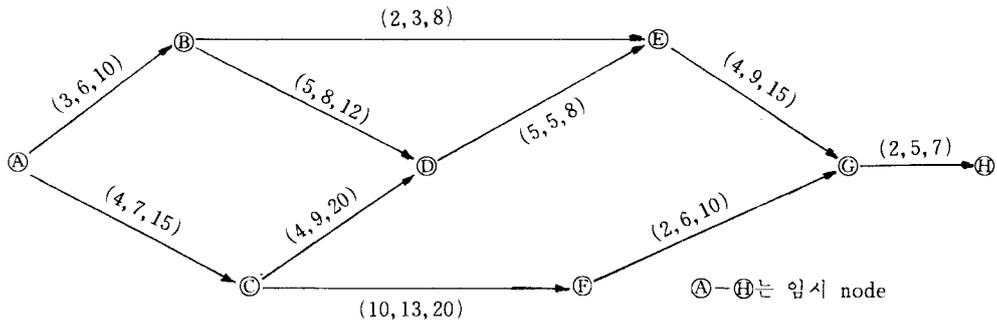


그림 1. 퍼지 activitive data

A	0	1	2	3	4	5
		②		⑥		
network	①	B	D	E	G	H
		C	F		⑦	⑧
		③	⑤			

그림 2. Numbering

$$t_{12} = (3, 6, 10)$$

$$t_{13} = (4, 7, 15)$$

$$t_{24} = (5, 8, 12)$$

$$t_{26} = (2, 3, 8)$$

$$t_{34} = (4, 9, 20)$$

$$t_{35} = (10, 13, 20)$$

$$t_{46} = (1, 5, 8)$$

$$t_{57} = (2, 6, 10)$$

$$t_{67} = (4, 9, 15)$$

$$t_{78} = (2, 5, 7)$$

그림 2는 그림 1의 수치예제를 numbering 한 결과이다.

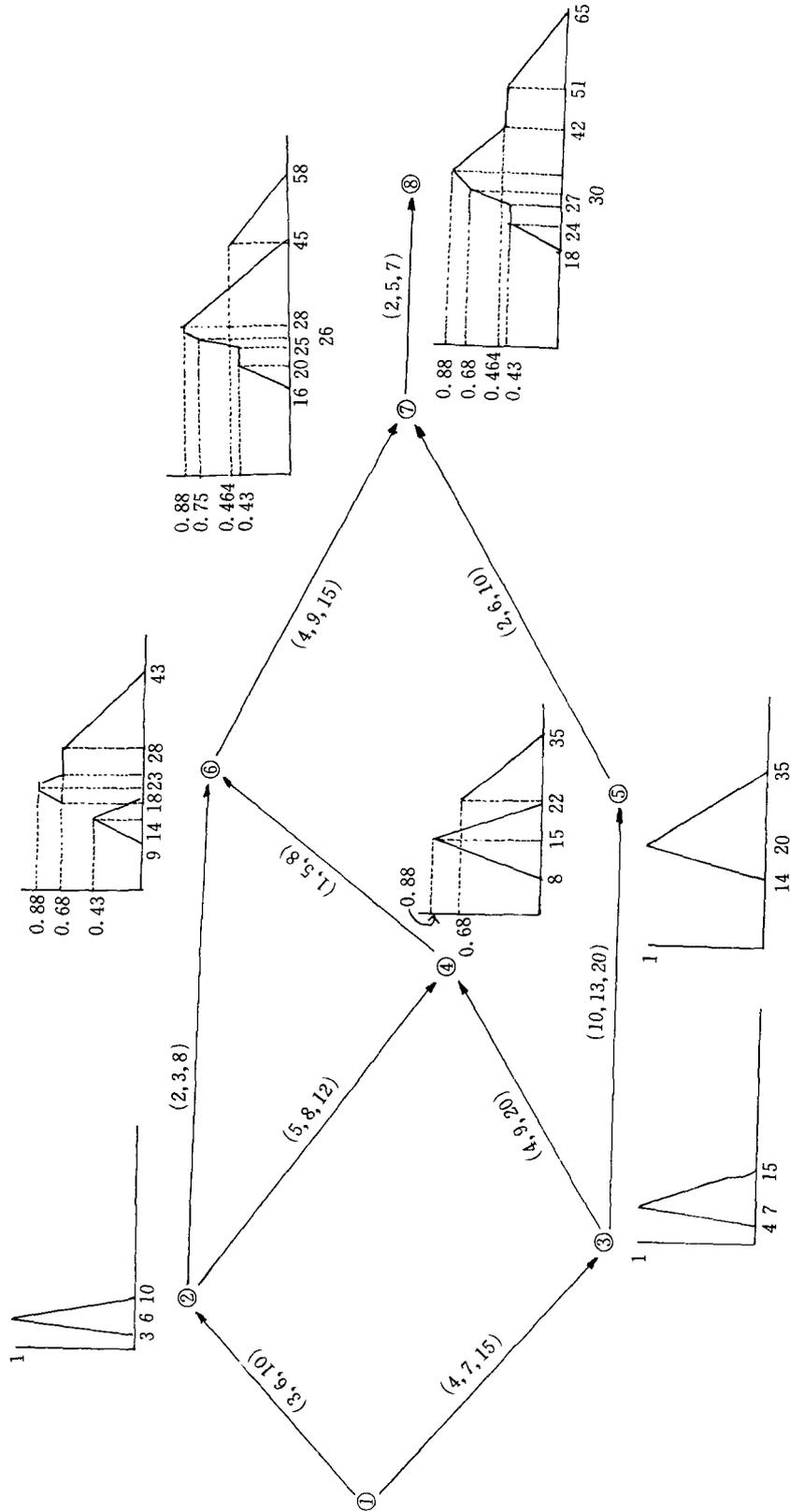


그림 3. 퍼지연산 네트워크 계산결과

그림 3은 최종 duration time을 계산한 결과이다.

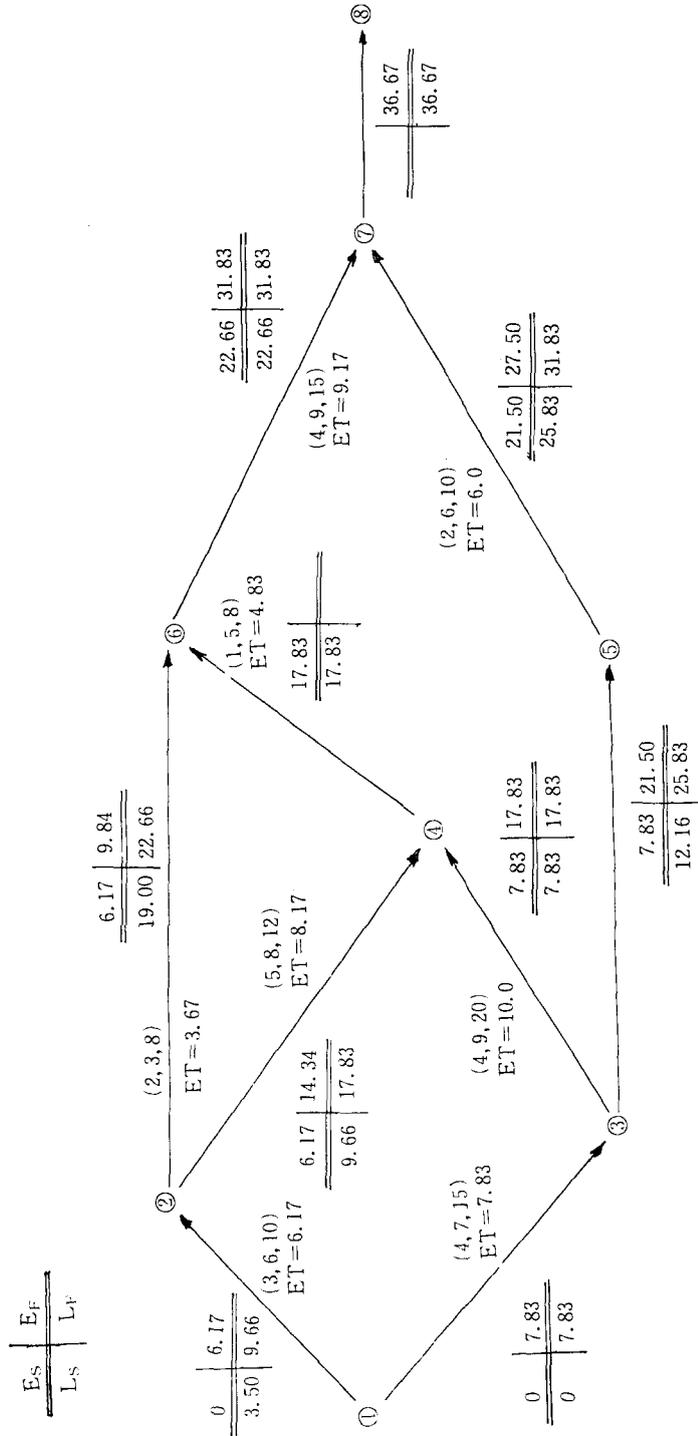


그림 4. PERT 네트워크

표 1은 fuzzy project scheduling의 data를 PERT의 입력 data로 사용한 것이다.

표 1. PERT의 Input data

Input Data of the Problem EXER 1 Page : 1

Activity number	Activity name	Start node	End node	Optimistic time	MostLikely time	Pessimistic time
1	<t1 / 2>	<1>	<2>	<+3.00000>	<+6.00000>	<+10.0000>
2	<t1 / 3>	<1>	<3>	<+4.00000>	<+7.00000>	<+15.0000>
3	<t2 / 4>	<2>	<4>	<+5.00000>	<+8.00000>	<+12.0000>
4	<t2 / 6>	<2>	<6>	<+2.00000>	<+3.00000>	<+8.00000>
5	<t3 / 4>	<3>	<4>	<+4.00000>	<+9.00000>	<+20.0000>
6	<t3 / 5>	<3>	<5>	<+10.0000>	<+13.0000>	<+20.0000>
7	<t4 / 6>	<4>	<6>	<+1.00000>	<+5.00000>	<+8.00000>
8	<t5 / 7>	<5>	<7>	<+2.00000>	<+6.00000>	<+10.0000>
9	<t6 / 7>	<6>	<7>	<+4.00000>	<+9.00000>	<+15.0000>
10	<t7 / 8>	<7>	<8>	<+2.00000>	<+5.00000>	<+7.00000>

표 2는 Pert에 의한 입력 data의 분석표이다.

표 2. PERT 분석에 의한 결과

PERT Analysis for EXER 1 Page 1								
Activity No.	Activity Name	Exp. Time	Variance	Earliest Start	Latest Start	Earliest Finish	Latest Finish	Slack LS-ES
1	t1 / 2	+6.16667	+1.36111	0	+3.50000	+6.16667	+9.66667	+3.50000
2	t1 / 3	+7.83333	+3.36111	0	+477E-09	+7.83333	+7.83333	Critical
3	t2 / 4	+8.16667	+1.36111	+6.16667	+9.66667	+14.3333	+17.8333	+3.50000
4	t2 / 6	+3.66667	+1.00000	+6.16667	+19.0000	+9.83333	+22.6667	+12.8333
5	t3 / 4	+10.0000	+7.11111	+7.83333	+7.83333	+17.8333	+17.8333	Critical
6	t3 / 5	+13.6667	+2.77778	+7.83333	+12.1667	+21.5000	+25.8333	+4.33333
7	t4 / 6	+4.83333	+1.36111	+17.8333	+17.8333	+22.6667	+22.6667	Critical
8	t5 / 7	+6.00000	+1.77778	+21.5000	+25.8333	+27.5000	+31.8333	+4.33333
9	t6 / 7	+9.16667	+3.36111	+22.6667	+22.6667	+31.8333	+31.8333	Critical
10	t7 / 8	+4.83333	+0.69444	+31.8333	+31.8333	+36.6667	+36.6667	Critical
Expected completion time=36.66667								

Critical paths for EXER1 with completion time=36.66667

CP #1 : (with variance=15.88889)

t1 / 3 - t3 / 4 - t4 / 6 - t6 / 7 - t7 / 8

표 3. PERT 확률

소요일	확률	소요일	확률	소요일	확률
18	0.0000014	33	0.1788179	48	0.9977604
19	0.0000047	33.625	0.2227147	49	0.9990088
20	0.0000147	34	0.2517582	50	0.9995862
21	0.0000428	35	0.3379386	51	0.9998372
22	0.0001178	36	0.4335786	51.072	0.9998481
23	0.0003052	36.666	0.5000000	52	0.9993960
23.58	0.0005161	37	0.5333324	53	0.9999789
24	0.0007457	38	0.6309930	54	0.9999930
25	0.0017178	39	0.7208393	55	0.9999979
26	0.0037341	40	0.7984899	56	0.9999993
27	0.0076626	41	0.8615158	57	0.9999998
27.43	0.0102567	42	0.9095588	58	1.0000000
28	0.0148546	42.256	0.9195817	59	1.0000000
29	0.0272248	43	0.9439564	60	1.0000000
30	0.0472146	44	0.9670910	61	1.0000000
31	0.0775620	45	0.9817083	62	1.0000000
32	0.1208417	46	0.9903853	63	1.0000000
32.50	0.1479335	47	0.9952246	64	1.0000000
				65	1.0000000

표 3은 PERT에 의한 각 소요일의 확률치를 표시한다.

8. 결 론

요소기술의 개발성격상 정보의 폐쇄성, 기술개발 완료목표에 영향을 주는 예기치 못한 요인의 발생, 선진공업국의 핵심기술 이전기피, 기초과학의 후진성으로 인한 소재개발의 어려움 등으로 인하여 확률분포를 기초로 한 프로젝트 일정관리가 어렵다. 이러한 경우 현장 실무자와 프로젝트팀 구성원 간의 토의를 통한 프로젝트 완료가능성들을 설정하고 주관리대상의 지연요인을 분석하는 것이 효율적 대안이 된다. 본 논문은 프로젝트의 구성요소들의 duration time을 퍼지데이터로 주어진 activity time의 퍼지연산을 통하여 구하였다. 본 논문의 결과를 보면 지연요인에 대한 원인을 결과에 반영한 것으로 나타난다. PERT에 의한 계산결과와 비교할 때 최대 완료일의 가능성이 보다 크게 나왔으며 critical path는 동일하게 나왔다.

프로젝트 관리에 각 노드별 주요지연요인에 대한 퍼지감도분석과 언어변수를 이용한 프로젝트 참가구성원 퍼지프로젝트 일정관리 추진방법에 대한 연구가 계속 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 이광형·오길복, 퍼지이론 및 응용 1권:이론, 서울:홍릉과학출판사, 1991.
- [2] 이순용, 생산관리론, 서울:법문사, 1989.
- [3] 寺野·淺居·菅野(著), 박민용·최항식(역), 퍼지시스템의 응용입문, 서울:대영사, 1990.
- [4] 菅野道夫, 박민용·최항식(역), 퍼지제어시스템, 서울:대영사, 1990.
- [5] 向殿政男, 전자신문출판사업부(역), 알기 쉬운 퍼지이론, 서울:전자신문사, 1991.
- [6] Dubois, D., and Prade, H., Fuzzy Sets and Systems. New Yor: Academic Press. pp. 9-67.