

## 생산방식이론 관점에서 프로젝트 정보처리 시스템의 효율성

진장선 Parsons Brinckerhoff Korea 부장

### 1. 서론

건설 프로젝트의 성공여부는 관련 정보의 원활한 처리와 흐름에 의해 결정된다고 할 수 있다. 프로젝트의 계획단계부터 완료에 이르기까지 프로젝트 구성원들 간에는 수 많은 종류의 정보가 교환되며, 검토, 승인, 수정 등의 과정을 거치면서 진행된다. 수많은 건설정보 중 Request For Information (RFI)는 현장 생산과 직접 연관된 정보이다. RFI를 통해 시공사(Contractor)는 계획, 도면, 시방서 상의 불명료한 사항을 건축사(Architect)와 엔지니어(Engineer)에게 직접 질문을 하게 된다. 일반적으로 하도자(Subcontractor)가 프로젝트 정보와 관련된 질문서를 작성해 시공사에게 제출하면 시공사는 이를 정리 및 취합해 건축사에게 전달하게 된다. 질문서에 대한 건축사의 1차 검토가 끝난 후 해당 엔지니어에게 전달되면 엔지니어는 엔지니어링 사항에 대한 검토 후, 다시 건축사에게 전달되어 건축관련 2차 검토를 마친 후 시공사 및 하도자에게 전달되게 된다. 아래의 그림1은 RFI의 처리 절차를 나타내며, 일반적으로 RFI의 생성(date created) 및 답변(date answered) 날짜를 기준으로 처리 기간을 산정하게 된다.

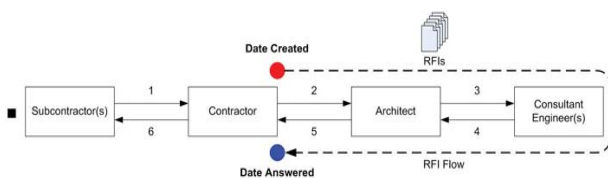


그림1. RFI 처리 절차

그림 1의 처리과정을 보면 단순하고 신속한 단계를 거쳐

RFI가 검토 되는 것 같아 보이지만, 여러 프로젝트를 검토한 결과 일반적으로 RFI의 처리 기간은 필요이상으로 길고 시공사가 원하는 기한 내에 답변되는 경우는 50%를 넘지 않는 것이 일반적이었다. 본 기고에서는 RFI 처리 시스템의 효율성 향상을 위하여 생산방식 이론을 활용한 연구결과를 소개하고자 한다.

### 2. 종이 문서 처리 방식 및 웹 (Web) 기반문서 처리 방식

Information Technology (IT)는 건설 산업에도 많은 변화를 가져왔지만 특히 프로젝트 팀간의 의사소통(communication) 매체로서 인터넷 사용은 가장 큰 변화라 하겠다. 기업들은 정보처리 기간의 단축과 보다 효율적인 정보 공유라는 기대 속에 웹 기반 정보처리 시스템을 구축하게 되었다. 웹 기반의 정보처리 절차는 기존 문서 기반의 처리 절차와 동일 하나 문서의 형태와 전송방식에서 차이점이 있다. 웹 기반의 정보처리시스템에서는 거의 모든 종류의 electronic format (예, doc, pdf, html, dwg 등)으로 정보 교환이 가능하며, 전송은 인터넷을 통해 이루어진다. 하지만 기대와는 다르게 기존 문서 방식의 처리 방법보다 효율성이 좋지 않은 측면도 있다는 것을 인식하게 되었다.

### 3. 사례분석을 위한 프로젝트 선정

프로젝트 정보처리 과정에서 불필요하게 소요되는 시간 및 그 이유를 분석하기 위하여 표 1과 같이 3개의 유사한 프로젝트를 선정하였다. 선정기준은 프로젝트(건물)의 용도/

종류, 예산, 공기 등이다. 본 연구는 사업주, 계약방식 등의 차이에 따른 project delivery 방식이나 control 방법 등이 정보처리 시스템의 효율성에 미치는 영향을 분석하는 것은 아니며, 프로덕션 레벨에서 정보 처리 절차에 미치는 영향요소 및 이유를 연구 분석하는 것에 목적이 있다.

표 1. 연구 사례

Project	Project A	Project B	Project C
회사	회사 1	회사 2	
건물용도	Laboratory	Laboratory + Hospital	Hospital
사업주	주정부	주정부	민간
Project Delivery 방식	Design-Build	CM at Risk	CM at Risk
계약방식	Lump Sum	GMP	GMP
위치	California, USA	Wisconsin, USA	Wisconsin, USA
예산	\$162 mil.	\$144 mil.	\$134 mil.
공기	36 mo.	38 mo.	40 mo.
정보교환방식	종이문서	웹	웹
샘플 size(# of RFIs)	574	1,035	777
평균처리시간(일)	11,95	15,50	15,54

#### 4. RFI 처리의 효율성 측정

표 1에서 보는 바와 같이 각 프로젝트는 서로 다른 특성을 가지고 있고 정보처리 방식도 다르다. 프로젝트 A는 종이문서 처리방식을, 프로젝트 B와 C는 웹 기반 문서처리 방식을 사용하고 있다. 그러므로 단순히 평균 문서처리시간을 비교하는 것으로는 시스템의 정확한 효율성을 판단하기 어려워진다. 그러므로 각각의 프로젝트 특성에 영향 받지 않는 가장 보편적인 측정기준이 필요하게 된다. 본 연구에서는 생산방식이론에서 쓰이는 3가지 성능 측정 기준을 소개하며, 이를 이용해 3개 프로젝트의 RFI 처리 성능을 비교 분석하였다.

##### • Variance-To-Contractor Want (VTW)

생산시스템의 효율성 면에서 가장 중요한 사항 중의 하나는 '고객은 주문한 것을 원하는 날짜 또는 그전에 받기를 원한다'는 것이다. 아무리 평균 주문 처리 시간이 짧더라도 고객이 약속한 날짜에 주문한 것을 받지 못한다면 고객은 만족하지 못할 것이다. 이러한 관점에서, RFI 처리시스템을 보면 시공사(고객)는 약속한 날짜 내에 응답을 받기를 원한다. 그러므로 시공사가 응답을 받기를 원하는 날짜(CWT)와 실제 처리시간(ALT)의 차이는 현재 시스템이 얼마나 시공

사의 요구에 부응하는가를 알려줄 것이다. 개별 RFI의 CWT와 ALT를 측정하여 차이를 계산하고 이를 Variance-To-Contractor Want (VTW)라 정의한다. 그림2는 CWT, ALT, 그리고 VTW의 개념을 도식적으로 보여주고 있다. 일례로 시공사가 응답을 3월 20일까지 원했는데 실질적으로 3월 23일날 회답을 받았다면 VTW는 +3일이되고 이는 3일 늦게 RFI가 처리 되었음을 의미한다.

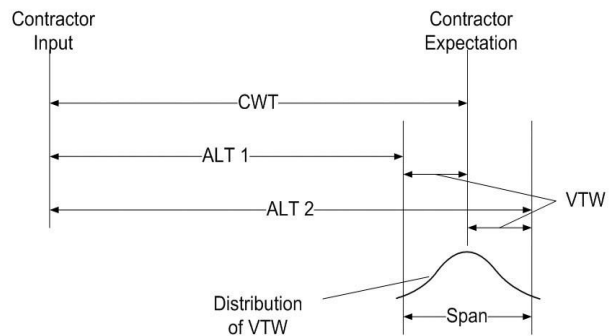


그림2. Variance-To-Contractor Want 개념

##### • Service Level

고객의 주문(요청)에 의하여 제조되는 물품이나 서비스의 질은 '고객이 원하는 것을 얼마나 정확한 기일 내에 고객에게 제공하는가'에 따라 판단할 수 있다. 이것은 서비스수준 (Service Level)이라고 정의한다. 이러한 제품 및 서비스들은 주로 고객이 원하는 요구사항에 따라 가공, 조립, 생산, 검토, 설계된다. RFI 검토 시스템의 서비스수준은 얼마나 많은 RFI들이 시공사가 원하는 기간(CWT) 내에 검토되어 응답되었는지를 산출하여 결정된다. 일례로 프로젝트 A에서 총 574건의 RFI 중 274건의 RFI가 시공사가 원하는 기한 내에 응답을 받았다면 서비스수준은 48%가 된다.

##### • Throughput (TH) Rate

Throughput rate은 단위시간 당 생산율로 정의되며, RFI의 처리 시스템에서는 '일정기간 중 처리된 RFI가 얼마인가'를 설명하게 된다. 프로젝트 A의 경우 238일 동안 574개의 RFI가 처리 되었으므로 평균 TH는 2.42 RFI/일 (574/238)이 된다.

### 5. RFI처리 성능 비교

각 프로젝트의 RFI 처리 성능을 측정하기 위해 실제처리 시간, Service Level, VTW, 그리고 TH를 이용해 비교 분석하였다. 각 프로젝트의 평균처리시간은 11.95일, 15.50일, 그리고 15.54일 이었다. 하지만 실제처리시간만을 가지고 프로젝트 A의 성능이 우월하다고 단언하기는 어렵다. 생산시스템의 우열은 각각의 Service Levels, VTW 그리고 TH를 통해 보다 정확히 설명할 수 있다. 표2는 각 생산방식이론에 따른 3개 프로젝트의 성능 측정 결과를 보여 준다.

표 2. 생산방식 개념 하 RFI 응답성 비교

		Project A	Project B	Project C
실제처리시간 (일)	Avg.	11.95	15.50	15.54
	StdDev	11.60	25.22	28.44
	CV <sup>1)</sup>	0.97	1.63	1.83
Service Level (%)	Avg.	47.74	48.31	49.94
VTW (일)	Avg.	3.38	6.79	9.91
	Min	-36.50	-34.00	-18.00
	Max	86.00	265.00	212.00
TH rate (# of RFIs/일)	Avg.	2.41 (= 574 /238)	1.23 (=1,350/840)	1.04 (=777/750)

\* 첫 번째로 프로젝트 A의 VTW가 다른 두 프로젝트보다 낮다. 낮은 VTW는 시스템이 고객의 요구에 잘 응답할 수 있는 역량을 가지고 있음을 의미한다. 또한 프로젝트 A의 VTW 최대값은 86 일로 프로젝트 B (265 일)나 프로젝트 C (212 일) 보다 매우 낮은 것을 알 수 있다.

\* 두 번째로 프로젝트 A (2.41)의 TH를 프로젝트 B (1.23), 프로젝트 C (1.036)와 비교했을 때 거의 2배임을 알 수 있다.

\* 세 번째로 3개 프로젝트의 Service Level이 거의 동일함을 볼 수 있다(47.74%, 48.31% 그리고 49.94%). 일반적인 기대와는 다르게 웹 기반 문서 처리 시스템이 기존 종이 문서 처리방식에 비해 크게 시스템 효율성을 개선하지 못한 것을 볼 수 있다.

1) Coefficient of Variation (CV) is the ratio of the standard deviation to the mean.  
 2) 배치당 도달 시간 간격(Inter-arrival times) 은 RFI 배치가 시스템 내로 들어오는 시간 간격을 의미함.

\* 네 번째로 프로젝트 A의 처리 시간 편차 (CVA = 0.97)가 다른 두 프로젝트(CVB = 1.627; CVC = 1.830)와 비교해 현격히 작은 것을 볼 수 있다. 이는 프로젝트 A가 보다 일정한 처리 시간을 가지고 있어서 고객이 보다 예측 가능하게 RFI응답을 기대할 수 있다는 것을 말해준다.

그러므로, 프로젝트 A가 보다 짧은 처리시간과 더불어 비슷한 Service Level, 낮은 VTW 그리고 높은 TH를 가지므로 보다 효율적인 시스템이라고 할 수 있다.

### 6. 웹 기반 문서처리 시스템의 낮은 효율성 고찰

앞선 사례에서 웹 기반 문서처리 시스템이 종이 기반 시스템보다 우월하지 않을 수 있다는 것을 관찰하였다. 어떤 이유로 웹 기반 문서처리 시스템이 종이 기반 시스템보다 낮은 효율성을 보이게 되었을까? 이것은 생산방식이론에서 흐름 레벨(flow level)의 시스템 구성요소를 측정하면 알 수 있으며, 그 구성요소는 표 3에 정리 되어 있다.

표 3. Flow 개념 하 RFI 응답성 비교

		Project A	Project B	Project C
실제처리시간 (일)	Average	11.95	15.50	15.54
	StdDev	11.60	25.22	28.44
	CV	0.97	1.63	1.83
배치당 도달 시간 간격 (일) <sup>2)</sup>	Avg.	1.90	2.25	2.53
	StdDev	1.74	2.12	3.76
	CV	0.91	0.94	1.49
배치 사이즈 (# of RFIs)	Avg.	4.63	2.74	2.62
	Min	1	1	1
	Max	24	18	20
Average entity (RFI) rate into workstation per day (# of RFIs/일)	Avg.	2.44	1.22	1.04
Throughput (TH) rate (# of RFIs/일)	Avg.	2.41	1.23	1.04
Work-In-Progress (WIP) (# of RFIs)	Avg.	30.55	19.30	16.89
	Min	0	0	0
	Max	59	56	69

\* 큐잉지연 (Queueing Delay): 여러 개의 entity (처리 해야 할 일)가 한정된 능력을 가진 server (처리자)에 들어올 경우 초과 entity는 server가 가용할 때까지 기다려야 한다. 큐잉이론에서는 큐잉지연이 실제 처리시간에 대한 variability요소, utilization 요소에 의해 결정된다고 설명한다<sup>3)</sup>. 여기서 variability 요소는 entity의 도착시간별 간격과 처리시간의 Squared Coefficient of Variation

(SCV)에 비례한다. 프로젝트 A를 살펴보면, 평균 4.63개의 RFI가 매 1.90일 마다 시스템 내로 들어오는걸 관찰할 수 있다. 이는 일 평균 2.44개의 RFI가 시스템 내로 들어오는 것을 의미한다 (4.63 RFI/ 1.90 days). 또한 현재 WIP가 일 평균 30.55개가 있다는 것은 현재의 RFI시스템이 최대 처리 능력에 도달하여 RFI가 다음 처리를 위하여 대기하고 있음을 의미한다.

\* Work-In-Progress (WIP): 생산 시스템에서의 WIP 증가는 여러 이유에서 찾을 수 있지만, 그 중 큐잉지연에 의한 증가가 가장 일반적이고 중요하다. 프로젝트 A를 보면 TH보다 시스템이 들어오는 일의 양이 더 많아 시스템이 부하가 걸려 RFI들이 시스템 내 대기하고 있음을 나타낸다 (2.41 RFI/일 < 2.44 RFI/일). 이론상 생산자의 utilization이 100%에 근접하면 WIP가 무한대로 늘어날 수 있다고 설명하고 있다. 프로젝트 B와 C를 보면 TH가 시스템 내 들어오는 일의 양과 같거나 조금 큰데도 불구하고 WIP가 발생하는 것은 시스템이 가용한 처리능력이 있다 해도 높은 entity의 도착시간간격과 처리시간의 variability 때문에 큐잉지연이 발생한다는 것을 알 수 있다.

\* 배칭 (Batching): 통상RFI는 처리를 위해 한 개씩 전송되지 않으며, 보통 몇 개씩 한꺼번에 (배칭) 검토자에게 전달된다. 높은 WIP의 원인 중 하나가 바로 배칭 때문이다. 언뜻 보기에 배칭 상태로 시스템 내로 들어 오는 entity의 variation이 “0”라고 생각할 수 있지만, 각각의 entity의 입장에서 보면 전혀 다른 특성을 살펴볼 수 있다. 예를 들어, 프로젝트 A에서 평균 4.63개의 RFI가 배칭 상태로 동시에 시스템 안으로 들어오는데, 문제는 처리자가 한번에 한 개의 RFI만을 검토 할 수 있다는 것에서 발생한다. 또한 4.63개의 RFI가 시스템 내로 1.90일 마다 들어오는데, 검토자가 그 중 1개의 RFI를 처리하는 동안 3.63개의 RFI (4.63-1)는 시스템 내에 대기하게 되고 도달하는 시간간격은 “0”이 된다. 그러므로, 도달간격 간의 평균시간은 0.41일이 되며 (1.9일 / 4.63 개의 RFI), 이 시간들의 variance는 아래와 같이 계산될 수 있다.

$$\sigma = \sqrt{\left[ \frac{1}{4.63}(1.90)^2 + \frac{3.63}{4.63}(0)^2 \right] - (0.41)^2} = 0.78$$

그러므로, 프로젝트 A의 배칭 도달에 대한 CV는, 아래와 같다.

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} = \frac{0.78}{0.41} = 1.9$$

CV 값 1.9는 Hopp and Spearman<sup>iii</sup>이 정의한 생산시스템 요소의 CV분류 중 HV (high variability)에 해당된다. 이는 entity의 도착시간별 간격과 처리시간의 variability와 더불어 시스템의 효율성을 저하시키게 되고, 결과적으로 긴 RFI처리 시간으로 나타나게 된다. 그러므로, 이상적인 배칭 숫자는 “1”이됨을 알 수 있다. 한 개씩 시스템 내에 들어오면 적어도 배칭에 따른 variation이 “0”이 되어, entity의 도착 시간별 간격과 처리시간의 variability외에 추가적인 variation이 발생하지 않게 된다.

## 7. 개선방법 고찰

앞서 RFI 검토 시스템이 낮은 효율성을 유발하는 이유를 생산이론의 개념에서 고찰하였다. 시스템의 효율성을 증진시키기 위해서는 기 설명한 요소별로 효율성 저하 원인을 분

표 4. 요소별 효율성 향상이 가능한 이유 및 개선책

	요소	가능한 이유	가능한 개선책
Variation	도착시간 간 간격	시공사의 결정	RFI의 남용/오용 방지
		전송지연	전자문서교환방식
		작성자 가용성	업무효율 저하요소 제거 및 전담 인력 임명
	처리시간	배칭크기	RFI 건 별 전송
		검토시간 지연	업무의 표준화 및 검토자 교육훈련
		문서의 완성도	표준문서양식사용
검토에 필요한 정보의 질		필요 정보의 질 향상	
Utilization	검토자 가용성	중요도에 따른 업무의 우선순위	
	검토시간 및 숙련도	업무효율 저하 요소 제거 및 전담 인력 임명	
처리시간	검토자 가용성	업무의 표준화 및 검토자 교육훈련	
		업무효율 저하요소 제거 및 전담 인력 임명	
	검토시간 및 숙련도	업무의 표준화 및 검토자 교육훈련	
		필요 정보의 질 향상	

적하고 가능한 개선책을 시행하여야 할 것이다. 표4는 시스템 성능에 영향을 주는 주요 요소들과 개선 가능한 이유, 그리고 가능한 개선방법들을 고찰해 정리하였다. 개선 가능한 이유는 시공사, 건축가, 엔지니어들과의 논의를 통해 도출되었으며, 중요도를 고려하여 선정하였다.

## 8. 결론

이상과 같이 GMP와 CM at Risk 계약방식의 웹 기반 문서 (RFI) 처리 시스템이 Design-Build계약방식의 종이문서 처리방식의 성능을 앞서지 못한다는 것을 보았다. 하지만 이러한 결론의 도출은 생산방식이론 관점에서만 RFI의 처리 응답도를 분석한 것으로 또 다른 프로젝트 성능에 영향을 줄 수 있는 요소들 (예, project delivery 방법, 계약방식, 사업주 특성 등)은 고려되지 않았다. 이러한 요소들이 RFI 처리 시스템 성능에 영향을 주겠지만, 본 기고에서 소개한 연구내용은 생산방식이론 관점에서 바라본 중요한 요소들을 도출하고 이용 가능성에 대하여 분석하였다는데 의의가 있다. 또한 RFI 시스템의 성능을 증대 시키기 위해서는 시스템 flow의 신뢰성을 증대가 중요하다는 것을 정량적으로 제시하였다.

소개된 연구의 고찰 및 분석 결과는 향후 기존 시스템의 성능 문제 도출 및 개선 방향 모색 시 보편적인 측정기준으로 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

- 진장선 e-mail : kevinchin25@gmail.com

<sup>i</sup> Hill, A. V. (2007). The Encyclopedia of Operations Management, Clamshell Beach Press, Minneapolis.

<sup>ii</sup> Lambrecht, M., and Vandaele, N. (1994). "Queueing Theory and Operations Management." Tijdschrift voor Economie en Management, XXXIX(4).

<sup>iii</sup> Hopp, W. J., and Spearman, M. L. (2000). Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management, Irwin/McGraw-Hill, Boston, MA.