

Analysis of Networks among Design Engineers Using Product Data Objects

Chun-Nam Cha · Namchul Do[†]

Dep. of Industrial and Systems Engineering at Gyeongsang National University, ERI

제품자료 객체를 이용한 설계자 네트워크 분석

차춘남 · 도남철[†]

경상대학교 산업시스템공학부

This study proposes a methodology to analyse social networks among participating design engineers during product development projects. The proposed methodology enables product development managers or the participating design engineers to make a proper decision on product development considering the performance of participating design engineers. It considers a product development environment where an integrated product data management (PDM) system manages the product development data and associated product development processes consistently in its database, and all the design engineers share the product development data in the PDM database for their activities in the product development project. It provides a novel approach to build social networks among design engineers from an operational product development data in the PDM database without surveys or monitoring participating engineers. It automatically generates social networks among the design engineers from the product data and relationships specified by the participants during the design activities. It allows analysts to gather operational data for their analysis without additional efforts for understanding complex and unstructured product development processes. This study also provides a set of measures to evaluate the social networks. It will show the role and efficiency of each design engineers in the social network. To show the feasibility of the approach, it suggests an architecture of social network analysis (SNA) system and implemented it with a research-purpose PDM system and R, a statistical software system. A product configuration management process with synthetical example data is applied to the SNA system and it shows that the approach enables analysts to evaluate current position of design engineers in their social networks.

Keywords : Social Network Analysis, Product Development Evaluation, Product Data Management, Product Data Model

1. 서론

제품개발은 기업 생존과 시장 경쟁력을 결정하는 핵심 활동이다. 이를 반영하여 그동안 제품개발을 이해하고 이를 평가하거나 개선하려는 연구가 많이 이뤄졌다

[13, 17]. 하지만 제품개발은 비정형적이고 복잡한 프로세스이므로 이를 표현하고 평가하는데 많은 어려움이 있다. 제품개발 주체인 설계자(Design Engineer)는 제품개발 성공에 중요한 역할을 한다. 하지만 설계자의 특성을 관찰하고 분석하는 것도 비정형적 설계 프로세스를 표현하고 평가하는 것처럼 매우 어려운 작업이다.

최근 빅데이터 기법으로 알려진 자료기반 분석기법(Data-Driven Analysis)은 정보시스템과 센서 등을 통해 축적된 다량의 정보를 이용하여 관심 대상의 특성을 효

과적으로 분석하는 방법이다. 방대한 자료와 이를 분석할 수 있는 자료 분석 방법의 발전은 자연언어 처리, 소비자 행동 분석 등의 비정형적인 응용분야에서 가시적인 성과들을 도출해 냈다. 그러므로 수십 년간 방대한 양의 전산 설계 자료를 축적한 제품개발도 자료기반 분석 기법의 좋은 적용 대상이다.

본 연구에서는 사회과학 등의 연구에 널리 활용되고 있는 소셜네트워크 분석(Social Network Analysis : SNA) 방법을 제품설계 프로세스에 적용하여 설계자들 간의 상호 관계를 분석하는 방법을 제안한다. SNA란 네트워크와 그래프 이론을 이용하여 사회적 구조를 조사하는 방법이다[3, 16, 20]. SNA를 제품설계 프로세스에 적용하기 위하여 제품설계 프로세스와 정보를 통합 관리하는 제품자료관리(Product Data Management : PDM) 데이터베이스를 활용한다. 아울러 기존 사회과학 분야 적용 예를 토대로 제품설계에 참여하는 설계자 관계를 평가하기 위한 평가지표를 개발한다. PDM 데이터베이스를 기반으로 설계자 SNA 방법과 평가체계를 개발하면 그동안 암시적으로 이루어졌던 제품개발에서 개발자간 역할 및 부하에 관한 객관적인 분석과 평가가 가능하게 된다.

본 연구의 목적인 설계자 관계 분석체계 개발은 다음과 같이 세 단계로 나누어 진행한다. 첫째 단계에서는 설계자 SNA를 위한 시스템 아키텍처와 평가지표를 개발하고 이를 구현하기 위한 정보 시스템의 아키텍처를 제안한다. 시스템 아키텍처에는 전체 시스템의 구성 모듈 설계와 각각의 기능 및 상호 관계 정의가 포함된다. 그리고 기존 사회과학 분야에 적용된 SNA 평가지표를 참고하여 네트워크 기반 설계자 관계분석을 위한 평가지표를 제안한다.

둘째 단계에서는 앞 단계에서 제안한 시스템 아키텍처를 기반으로 설계자 SNA 시스템을 구현한다. 본 연구에서 개발하는 설계자 SNA 시스템은 기존의 연구 및 교육용 PDM 시스템[5]을 설계자 간의 정보 교환 등의 제품개발 프로세스를 관리할 수 있도록 확장한 시스템을 기반으로 한다. 또한 PDM 데이터베이스로부터 설계자 관계분석을 위한 설계자 및 관련 제품자료를 추출하기 위한 데이터베이스 질의와 이들 자료를 SNA 입력 자료로 변환하는 인터페이스를 구현한다. 설계자 관계분석에는 공개 통계자료 분석 도구인 R 시스템[15]을 활용한다.

마지막 단계에서는 본 연구에서 제안한 분석체계의 활용 예를 제시한다. 이를 위해 복수의 설계자들이 구현된 PDM 시스템을 사용하여 제품개발 프로세스를 수행하고, 이 과정에서 PDM 데이터베이스에 축적된 제품자료를 분석에 활용한다. 축적된 자료를 바탕으로 설계자 SNA 시스템과 평가지표를 산출함으로써 본 연구에서 제안한 분석체계의 유효성을 보인다.

본 논문의 제 2장은 관련연구를 다룬다. 제 3장은 설계자 SNA 기초가 되는 제품자료모델(제 3.1절), 설계자 네트워크 형성(제 3.2절) 그리고 설계자 SNA 지표(제 3.3절)를 서술한다. 제 4장에서는 설계자 SNA 시스템을 위한 아키텍처(제 4.1절), 시스템 구현(제 4.2절) 그리고 적용 예(제 4.3절)를 설명한다. 제 5장에서는 연구를 정리하고 결론을 도출한다.

2. 관련 연구

설계자 분석과 평가는 제품개발성능평가(Product Development Performance Evaluation)의 한 영역에 속한다. 설계자를 포함한 제품개발을 평가하기 위해서는 제품개발에 대한 모델이 필요하다. Finger and Dixon[6]은 제품개발성능평가 연구를 기술(Description), 규범 그리고 컴퓨터 기반 제품개발 모델에 따라 분류하였다. 이 중 기술 모델에서 Protocol과 인지과학적 모델이 설계자 평가와 관계가 있다. Dixon[4]은 인지과학적 모델이 정확히 정의되기 어려운 실험변수를 많이 사용하는 점에서 객관적이고 명확한 모델과 차이가 있음을 비평하였다. 반면 컴퓨터 기반 모델이 객관적이고 명확한 결과를 생성할 가능성이 있음을 언급하였다.

설계자의 활동을 체계적으로 기록하는 Protocol 연구 방법을 이용하여 인위적 조건 하에서 설계과정을 실험한 연구가 존재한다[12]. 하지만 Protocol 연구 방법은 개인이나 소규모 연구 그룹만을 분석할 수 있기 때문에 현대의 분산되고 동시에 진행되는 대규모 설계 프로세스를 분석하는데 한계가 있다.

소셜네트워크를 생성하는 소셜미디어(Social Media : SM)를 제품설계에 적용하는 연구가 시도되었다[7, 8]. 이 연구는 제품개발 과정 중에 설계자간 SM을 분류하고 이를 이용하여 비정형적인 설계지식을 확보하고 저장하는 체계를 제안하였다. SM 교환은 설계자 네트워크를 생성하게 되지만, 이 연구에서는 SNA를 적용하지 않았다.

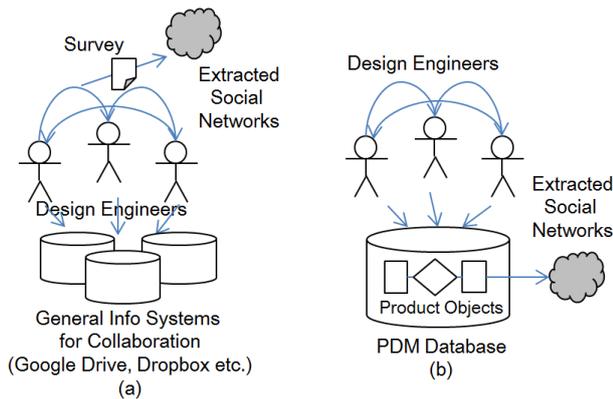
한편 PDM 시스템과 SM 기능을 통합하는 연구들도 있었다. 일부 연구는 미래 PDM으로서 SM 통합 Social PDM의 역할을 예측하는 연구[1, 10]이며, 일부는 SM 통합 PDM 체계를 제안하는 연구이다[5, 11]. SM 객체를 PDM 시스템의 부품, 제품구조 그리고 설계변경 객체와 통합함으로써 각 제품 자료 객체와 연계된 비정형적 설계지식을 표현하고 축적할 수 있다.

SNA를 사회과학 분야에 적용하는 연구들은 많이 발견할 수 있다[9]. 일반적인 접근방법은 특정 집단 사이의 관계를 소셜네트워크로 표현하고 SNA를 통해 네트워크의 중심에 위치하거나 매개역할을 하는 구성원을 찾는

것이다. 설문조사 등 기존의 방법을 대신하여 인터넷이나 전산화된 자료를 통해 소셜네트워크를 형성하고, SNA 결과를 전산화된 자동 상품추천 등에 적용한 연구도 있다[14].

Wu 등은 설계자 관계분석에 SNA를 적용하였다[21]. 이들은 Cloud-Based Design and Manufacturing(CBDM)을 제안하고 CBDM에 참여하는 설계자 SNA를 시도하였다. 이 연구는 두 학기동안 설계관련 대학원 수업에 참여한 학생들의 정보 교환을 설문조사하여 설계자 간의 관계를 분석하였으며, 분석 결과로 하위 그룹(subgroup)과 그룹 내 리더(leader)를 확인하였다.

Wu et al.[21]의 연구와 비교한 본 연구의 첫째 차이는 SNA를 위한 자료를 PDM 데이터베이스로 부터 추출했다는 점이다. <Figure 1(A)>에서 보는 바와 같이 기존 연구에서는 설문을 통해 참여자에게서 소셜네트워크 구성을 위한 추가적인 자료를 확보 했지만, 본 연구는 설계의 운영 자료(Operational Data)인 PDM 데이터베이스 내의 제품자료 객체로 부터 설계 참여자 간 소셜네트워크 생성에 필요한 자료를 추출하였다(<Figure 1(B)> 참조). 둘째 차이는 참여자 사이의 직접적 설계 자료의 전달이 아닌 제품자료상의 간접적 관계를 통해 소셜네트워크를 구성한 점이다. 기존 연구는 참여자간의 직접적인 정보 전달을 조사하였으나(<Figure 1(A)> 참조), 본 연구는 설계과정 중에 생성된 특정 제품자료 객체를 통한 관계로 부터 설계자 네트워크를 생성하였다(<Figure 1(B)> 참조).



<Figure 1> Comparisons between Proposed SNA Approach and Wu et al.[21]

본 연구가 제안한 방법은 첫째, 추가적인 노력 없이 제품설계 운영 자료로 부터 SNA를 위한 전산화된 자료를 확보할 수 있고, 둘째, 설계자의 일상적인 설계활동 결과를 지속적으로 이용할 수 있으며, 셋째, 연관된 제품자료 객체를 통해 특정 설계 활동에 대한 설계자 네트워크를 확보할 수 있다는 장점이 있다.

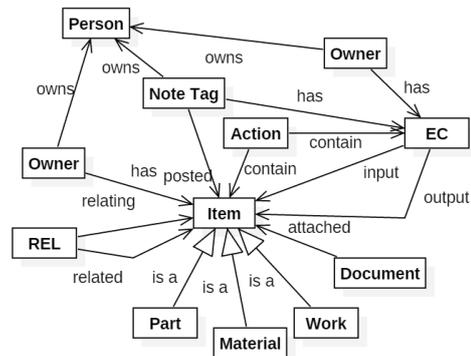
3. 제품자료관리 모델과 설계자 네트워크 평가 지표

3.1 제품자료모델

<Figure 2>에 제시된 PDM 데이터베이스 제품자료모델은 설계자, 부품, 기술문서, 제품구조, 설계변경 그리고 워크플로우(Workflow)를 표현할 수 있다. 제품자료모델에서 Item은 부품, 재료 그리고 공정 객체를 대표하는 일반 클래스이다. Document는 Item에 연결되어 Item을 설명하는 기술문서를 표현한다. REL은 Relationship의 약자로 Item 간의 구성관계(Constituent Relationship)를 생성하며, 제품구조(Product Structures)를 표현할 수 있다. REL 객체는 조립품 역할을 하는 Item과 부품 역할을 하는 Item을 연결하기 위하여 각각 relating과 related 속성을 사용한다. 설계변경(EC 객체)은 input 속성과 output 속성을 통해 각각 변경이전 Item과 변경이후 Item을 연결함으로써 제품의 변경을 표현하는 객체이다.

Note Tag는 Item과 EC에 추가할 수 있는 사용자 의견을 표현하며, 일종의 SM 역할을 한다. Note Tag는 객체에 대한 의견뿐만 아니라 사용자 사이의 의사전달과 승인 기록에도 사용될 수 있다. Action은 Item과 EC의 검토와 승인 과정을 표현하는 일종의 워크플로우 객체이다. Person은 시스템 내의 권한을 가진 사용자를 나타내며, Owner 객체를 이용하여 특정 객체에 대한 읽기, 쓰기 그리고 승인 권한을 표현할 수 있다.

<Figure 2>의 제품자료모델을 이용하여 다양한 제품개발 프로세스를 표현할 수 있다. 예를 들어 제품구성관리(Product Configuration Management) 프로세스는 EC 객체를 Action 객체를 통해 검토하고 승인하는 과정이다. 이때 Person과 Owner 객체로 표현된 설계자, 검토자 그리고 승인자가 과정에 참여하며, 검토와 승인을 표현하기 위해 Note Tag 객체를 사용한다. 제품구성관리 프로세스는 본 연구의 예제 프로세서로서 제 4.3절에서 자세히 다룬다.



<Figure 2> Product Data Model for PDM Database

3.2 설계자 네트워크 구성

설계자 네트워크를 구성하기 위한 관계는 SM을 주고 받은 설계자 간의 직접적 관계와 제품자료 객체를 통한 간접적 관계로 구분할 수 있다. <Figure 2>의 제품자료모델에서 설계자 관계는 다음과 같이 다섯 가지로 분류할 수 있다. 이들 중에서 1)은 직접적 관계, 2)-5)는 간접적 관계에 해당한다.

- 1) Note Tag의 발신자와 수신자 관계를 통한 연결
- 2) Item의 Note Tag 발신자와 Item 소유자 간의 연결
- 3) Item에 연결된 Note Tag 발신자와 Item이 속한 제품구조상의 Item 소유자간의 연결
- 4) 설계변경(EC)에 연결된 Note Tag 발신자와 설계변경 소유자 간의 연결
- 5) 워크플로우(Action)에 연결된 Note Tag 발신자와 워크플로우 참여자 간의 연결

특정 제품개발 프로세스에는 위의 관계들 중의 일부가 포함된다. 예를 들어 제품구성관리 프로세스에는 주로 설계변경과 워크플로우와 관련된 관계들이 참여하게 된다. 따라서 본 연구가 제안하는 체계를 이용하면 분석을 원하는 프로세스나 과정에 따라 특정 종류의 관계를 선택하여 설계자 네트워크를 생성하고 분석하는 것이 가능하다. 여기서 설계자 네트워크를 구성하는 노드(node)는 제품개발 프로세스에 참여하는 설계자와 분석 대상 프로세스의 객체(instance), 아크(arc)는 노드 간의 직접적 혹은 간접적 관계로 정의된다(<Figure 10> 참조).

3.3 설계자 네트워크 분석을 위한 평가지표

n명의 설계자를 포함하여, 총 N개의 노드로 구성된 설계자 네트워크를 이용하여 설계자와 설계객체 간 관계를 분석하는 지표를 개발하기 위해 사용되는 용어는 다음과 같다.

- d(i, j) : 노드 i에서 j에 이르는 최단경로의 길이(= 경로상의 노드 수-1)
- g_{ij} : 노드 i에서 j에 이르는 최단경로의 수
- g_{ivj} : 노드 i에서 j에 이르는 최단경로 중에서 노드 v를 거치는 경로의 수

3.3.1 설계자 근접중심성

중심성(centrality) 개념은 그래프에서 가장 중요한 노드를 밝히기 위한 지표로서 소셜네트워크에서 가장 영향력이 큰 사람, 인터넷 혹은 도시 네트워크에서 핵심 기반

노드, 혹은 질병의 주요 전파자 등을 규명하는데 널리 활용된다. 근접중심성(closeness centrality)은 노드 간의 거리를 기준으로 중심성을 측정하는 개념이다[19].

본 연구에서는 설계자 v의 근접중심성, C_{c1}(v)를 식 (1)과 같이 네트워크상에서 설계자 v와 다른 설계자간 최단거리의 역수의 평균으로 정의한다. 따라서 다른 설계자와의 거리가 가까울수록 근접중심성은 높게 평가된다. 다른 계산방법으로는 식 (2)와 같이 설계자 v와 다른 설계자간 평균 최단거리의 역수로 근접중심성을 측정할 수도 있다.

$$C_{c1}(v) = (\sum_{j \neq v} 1/d(v, j))/(n-1), v = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

$$C_{c2}(v) = (n-1)/\sum_{j \neq v} d(v, j), v = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

3.3.2 설계자 연계중심성

연계중심성(betweenness centrality)은 소셜네트워크에서 한 개인이 다른 구성원들 간의 의사소통 과정에 행사하는 통제의 정도를 측정하기 위해 제안된 지표로서 네트워크에서 한 노드가 다른 두 노드들 간의 최단경로에 포함되는 횟수를 나타낸다[19].

본 연구에서는 설계자가 제품설계 프로세스에서 생성되는 정보나 객체의 매개자로서 수행하는 역할을 계량하기 위해 설계자 v의 연계중심성, C_b(v)를 식 (3)과 같이 정의한다.

$$C_b(v) = \sum_{i \neq v \neq j} (g_{ivj}/g_{ij}), v = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

3.3.3 설계 부그룹

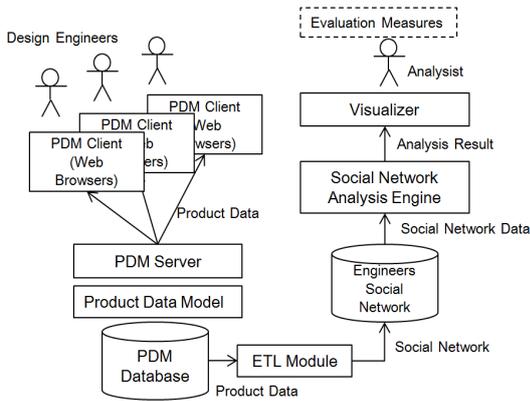
설계 부그룹(subgroup)은 설계에 참여한 전체 설계자들 중에서 상호 도달이 가능한 설계자들로 구성된 집합을 뜻하며, 동일한 부그룹에 속한 설계자들은 쌍방향 연결이 가능하다.

4. 시스템 아키텍처, 구현 그리고 적용

4.1 설계자 SNA 시스템 아키텍처

설계자 SNA 시스템 아키텍처가 <Figure 3>에 표현되어 있다. <Figure 3>의 좌측은 일반적인 PDM 시스템이다. 가장 하위에는 제품설계 정보가 저장된 PDM 데이터베이스가 존재한다(<Figure 3>의 PDM Database 참조). PDM 데이터베이스는 제품자료모델(Product Data Model)을 통하여 제품자료 구조를 표현하고 관리한다. 시스템

에는 제품자료를 서비스하기 위한 PDM 서버가 존재하며, 각 설계자들은 PDM 클라이언트를 이용하여 서버에 접근한다(PDM Client/Server 참조). 이는 일반적인 웹기반 PDM 시스템 구조와 동일하다.



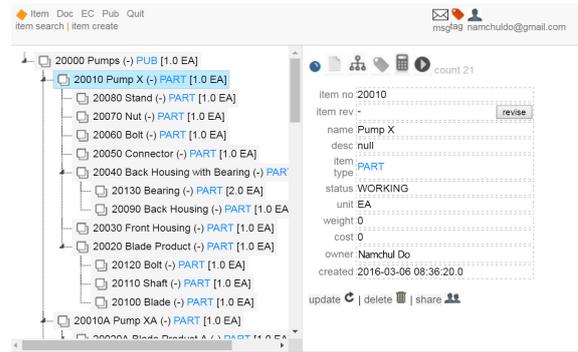
<Figure 3> Architecture of Proposed Social Network Analysis System for Design Engineers

<Figure 3>의 우측은 설계자 SNA 시스템 구조를 보여준다. SNA 시스템의 ETL(Extract, Transform and Load) 모듈은 좌측의 PDM 데이터베이스에서 제품과 설계자 자료를 추출하여 설계자 네트워크를 생성하게 된다(ETL Module과 Engineers Social Network 참조). 추출된 소셜 네트워크는 SNA 엔진을 이용하여 분석되고 분석 결과는 가시화 모듈을 통해 분석자에게 제공된다(Social Network Analysis Engine과 Visualizer 참조). 이때 분석자는 정해진 평가지표를 이용하여 설계자 네트워크를 평가하게 된다(Evaluation Measures 참조). 이와 같이 설계자 SNA 시스템은 제품 개발을 위한 운영 시스템인 PDM 데이터베이스를 활용하여 실행된다.

4.2 분석 시스템 구현

설계자 SNA 시스템 아키텍처의 실현 가능성을 확인하기 위하여 PDM과 통합된 설계 SNA 시스템을 구현한다. 구현된 시스템은 웹기반 교육 연구용 PDM 시스템[18]의 데이터베이스와 연동된다. <Figure 4>는 PDM 시스템의 설계자료 정의를 위한 제품구조와 부품의 상세 자료 조회 화면을 보여준다. 설계자는 PDM 시스템을 이용하여 설계를 정의하고 정의된 제품자료는 PDM 데이터베이스에 저장된다.

PDM 데이터베이스의 제품자료는 데이터베이스 질의 명령과 저장 프로시저(Stored Procedure)로 만들어진 ETL 모듈을 이용하여 R 시스템에서 사용할 수 있는 소셜네트워크 모델로 만들어진다. SNA는 R 시스템의 sna 패키



<Figure 4> Product Structure and Item Browse Windows of Implemented PDM System

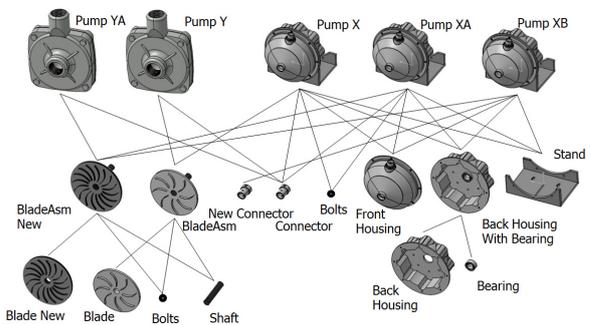
지[2]를 이용하여 실행되며, 분석된 결과는 R 시스템의 그래프 기능을 이용하여 가시화된다.

4.3 Configuration Control 예제 적용

예제 제품개발 프로세스는 제품설계과정 중 일부인 제품구성관리(Product Configuration Control)를 사용하며, 제품 자료는 가상의 예를 이용하여 작성한다. 프로세스와 예제는 구현된 PDM 시스템을 이용하여 실행되며, 이 과정에서 PDM 데이터베이스에 축적되는 제품자료를 사용하여 설계자 SNA를 실행한다.

4.3.1 예제 제품과 프로세스

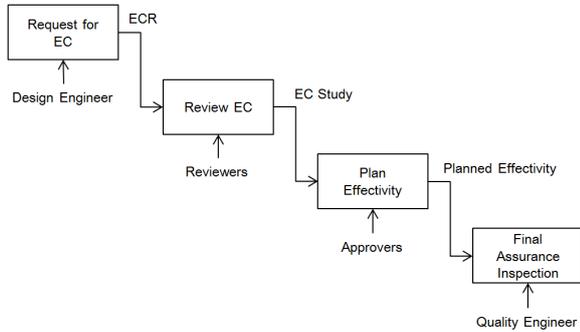
<Figure 5>는 제품구성관리에 사용된 예제 제품구조의 일부를 보여준다. 그림에서 Pump Y는 Pump X를 기반으로 개발되었으며, 설계변경에 의하여 Pump XA, Pump XB 그리고 Pump YA가 생성되었다.



<Figure 5> Example Product Configurations

<Figure 6>은 예로 사용된 제품구성관리 프로세스를 보여준다. 제품구성관리는 설계변경 요청(Request for EC), 설계변경 검토(Review EC), 설계변경 적용 결정(Plan Effectivity) 그리고 설계변경 적용 최종 확인검사(Final Assurance

Inspection)로 구성되어 있다. 제품구성관리에 참여하는 설계자의 역할은 설계기술자(Design Engineer), 검토자(Reviewer), 승인자(Approver) 그리고 품질관리자(Quality Engineers)로 구성되어 있다.



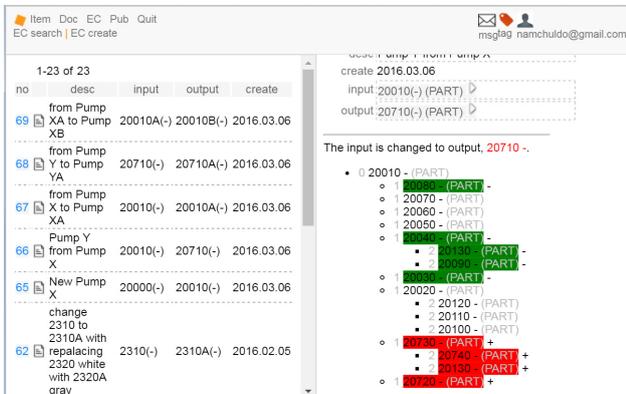
<Figure 6> Steps and Roles in Product Configuration Control Process

4.3.2 PDM 시스템을 활용한 설계변경과 제품구성관리

적용 예는 총 10인의 설계자가 수행한 5번의 설계변경과 이로 인한 제품구성관리 프로세스를 대상으로 한다. 설계변경의 주요 내용은 다음과 같다.

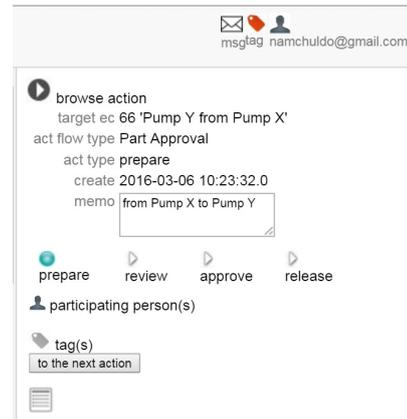
- EC65-Pump X 생성
- EC66-Pump X로 부터 Pump Y 개발
- EC67-Pump X로 부터 Pump XA 개선
- EC68-Pump Y로 부터 Pump YA 개선
- EC69-Pump XA로 부터 Pump XB 개선

<Figure 7>은 PDM 시스템에 정의된 EC65-69의 설계변경 목록(좌측화면)과 EC66에 의한 신규 및 이전 제품구조를 비교한 결과(우측화면)를 보여준다.



<Figure 7> Implemented EC list in the Left Window and Comparisons between old and N Product Structures in the Right Window

설계변경에 대한 검토와 승인을 위한 제품구성관리는 각 설계변경에 정의된 <Figure 6>의 단계가 포함된 Action 객체로 표현된다(<Figure 8>의 우측 Action browse 창 참조). 그러므로 Action에 참여한 Person 객체와 각 EC 객체를 연결하면 분석 대상 설계자 네트워크가 생성된다.



<Figure 8> Implemented Configuration Control Process

4.3.3 설계자 SNA 평가지표 결정

제품구성관리에 참여하는 설계자의 네트워크상의 위치를 평가하기 위하여 제 3.3절에서 정의한 근접중심성과 연계중심성을 평가지표로 사용하였다.

4.4.4 설계자 네트워크 생성

제품구성관리에서 설계자 네트워크를 생성하기 위하여 특정 제품구성관리에 참여한 설계자, 검토자, 승인자 그리고 품질관리자의 연관관계로부터 네트워크를 생성한다. 그러므로 생성되는 네트워크는 설계자와 제품구성관리 대상 설계변경 사이의 참여관계로 이루어진 2 모드(mode) 소셜네트워크 형태로 생성된다.

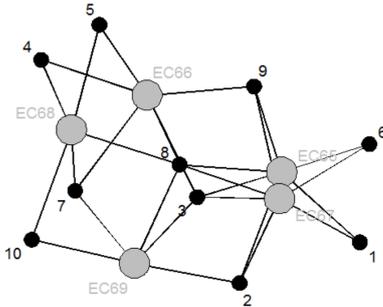
<Figure 9>는 제품구성관리에 참여하는 1-10번 설계자의 소셜네트워크를 표현하는 근접행렬을 보여준다.

	EC65	EC66	EC67	EC68	EC69
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
EC65	1	1	0	0	0
EC66	0	1	1	1	1
EC67	1	1	1	0	0
EC68	0	0	1	1	0
EC69	0	1	0	0	1

<Figure 9> Adjacent Matrix Representing Participating Engineers

4.4.5 SNA 실행 및 결과

<Figure 10>은 <Figure 9>의 소셜네트워크를 가시화하였다. 가시화를 통해 Pump X와 Y에 대한 설계변경의 군집(EC65, 67, 69와 EC 66, 68)과 설계자 3과 설계자 8이 연계관계가 높음을 시각적으로 확인할 수 있다.



<Figure 10> Visualized Social Network from Matrix in <Figure 9>

<Figure 11>은 R의 sna 패키지를 이용한 설계자 SNA 결과를 보여준다. R은 SNA 결과를 저장한 행렬이며, round()는 유효자리 출력함수이다. closeness 1, 2와 betweenness는 각각 식 (1), 식 (2)의 근접중심성과 식 (3)의 연계중심성을 나타내고, 결과수치는 앞에서 부터 설계자 1에서 10까지의 각 지표 값을 나타낸다.

```
> # SNA Result
> R.degree
[1] 2 3 4 2 2 2 3 5 3 2
> round(R.closeness1, 2)
[1] 0.38 0.45 0.56 0.40 0.40 0.38 0.45 0.61 0.48 0.40
> round(R.closeness2, 2)
[1] 0.46 0.55 0.63 0.48 0.48 0.46 0.55 0.68 0.57 0.48
> round(R.betweenness, 0)
[1] 0 7 18 1 1 0 6 40 9 2
```

<Figure 11> SNA Result

분석결과 설계자 3과 설계자 8의 근접성과 연계성이 높은 것으로 나타났다(각각 $C_{e1} = (0.56, 0.61)$, $C_{e2} = (0.63, 0.68)$, $C_b = (18, 40)$). 시나리오에서 설계자 8의 경우 최종 승인자로서 모든 제품구성관리를 승인하는 역할을 수행하므로 근접성과 연계성이 높게 나왔다. 설계자 3의 경우는 Pump X의 설계팀에 참여하였고, Pump X로 부터 Pump Y를 개발하는 과제에도 참여하였다. 그러므로 두 설계팀에 모두 참여했을 뿐만 아니라 두 팀 간의 매개역할을 하였으므로 상대적으로 높은 근접성과 연계성 지표 값이 산출되었다.

5. 결론

본 연구는 PDM에서 관리하는 제품자료를 이용하여 제

품개발에 참여한 설계자의 네트워크를 분석하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 설계자를 직접 관찰하거나 설문조사를 하는 전통적 방법과 달리 제품개발 운영 자료를 관리하는 PDM 데이터베이스로부터 분석 대상 네트워크를 추출하였다. 따라서 제안된 방법은 조사의 부담을 줄일 수 있으며 원하는 제품개발 프로세스에 대한 분석이 가능하다.

제안된 방법이 유효함을 확인하기 위하여, 연구 개발용 PDM 시스템을 확장한 설계자 SNA 시스템 아키텍처를 설계하고(제 4.1절), 이를 기반으로 웹 기반 PDM 시스템과 통계 분석용 R 시스템의 SNA 전문 패키지를 이용하여 설계자 SNA 시스템을 구축하였다(제 4.2절). 제안된 아키텍처와 구현된 시스템의 유용성을 확인하기 위하여 현장에서 사용하는 제품구성관리 프로세스에 가상 제품과 설계변경을 적용한 예제를 작성하여 시스템에 적용하였다(제 4.3절).

설계자 SNA 시스템을 개발하고 예제를 적용한 결과, 예제 시나리오에서 중요한 매개자 역할을 하는 설계자를 계량적으로 식별할 수 있었으며, 관련 있는 설계자와 설계변경 관계도 가시화할 수 있었다. 그러므로 제안된 설계자 SNA 방법을 통하여 제품개발 프로세스 분석이 가능함을 확인하였다. 하지만 본 연구는 제한적이고 가상의 환경에 적용한 한계를 가지고 있다.

본 연구에서는 제 3.2절에서 제시한 제품자료를 통한 간접적인 관계를 통해 분석 대상 설계자 소셜네트워크를 생성하였다. 추후 연구로는 SM을 통한 직접적인 관계를 이용한 소셜네트워크 생성과 SM 내용을 고려한 SNA 연구가 가능하다.

Acknowledgement

This study has been partially supported by a Research Fund of Gyeongsang National University, Korea.

References

- [1] Brown, J., Going Social with Product Development, Tech-Clarity Technical Report, 2009.
- [2] Butts, C.T., Social network analysis with sna, *Journal of Statistical Software*, 2008, Vol. 24, No. 6, pp. 1-51.
- [3] Choi, S.H., A Study on the Development of a Simulator for Social Networks in Organizations Using Arena, *Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2012, Vol. 35, No. 3, pp. 62-69.
- [4] Dixon, J.R., On Research Methodology Towards A Scientific Theory of Engineering Design, *Artificial Intelli-*

- gence for Engineering, Design, Analysis and Manufacturing (AI-EDAM), 1988, Vol. 1, No. 3, pp. 145-157.
- [5] Do, N., Integration of Social Media with Product Data Management for Collaborative Product Design, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 2016, Vol. 42, No. 1, pp. 50-56.
- [6] Finger, S. and Dixon, R.J., A Review of Research in Mechanical Engineering Design. Part I : Descriptive, Prescriptive, and Computer-Based Models of Design Process, *Research in Engineering Design*, 1998, Vol. 1, pp. 51-67.
- [7] Gopsill, J.A., McAlpine, H.C., and Hicks, B.J., A Social Media framework to support Engineering Design Communication, *Advanced Engineering Informatics*, 2013, Vol. 27, pp. 580-597.
- [8] Gopsill, J.A., McAlpine, H.C., and Hicks, B.J., PART-Book-A Social Media Approach For Capturing Informal Product Knowledge, *International Design Conference-Design 2012*, Dubrovnik, Croatia, 2012.
- [9] Huh, M.H., Introduction to social network analysis using R, Paju, Korea : Jayu Academy, 2014.
- [10] Kalypso, Social Media and Product Innovation, Kalypso Technical Report, 2011.
- [11] Leonora, R.E.O. and Social PLM : An exploratory study of the integration of social computing technologies in the product development, [master's thesis]. [Eindhoven, Netherlands] : Eindhoven University of Technology, 2010.
- [12] O'Donnell, F.J. and Duffy, A.H.B., Design Performance, London, United Kingdom : Springer-Verlag, 2005.
- [13] O'Donnell, F.J. and Duffy, A.H.B., Modeling design development performance, *International Journal of Operations and Production Management*, 2002, Vol. 22, No. 11, pp. 1198-1221.
- [14] Park, J.H., Cho, Y.H., and Kim, J.K., Social Network : A Novel Approach to New Customer Recommendations, *Journal of Intelligence and Information Systems*, 2009. Vol. 15, No. 1, pp. 123-140.
- [15] R, R project, <https://www.r-project.org>, 2016.
- [16] Sim, S.H. and Moon, J.Y., A study on Mobile SNS Attributes Effects on Information share, Relationship formation, and User satisfaction, *Journal of the Korean Society for Quality Management*, 2012, Vol. 40, No. 1, pp. 60-72.
- [17] Tatikonda, M.V., Product development performance measurement, in : C. Loch, S. Kavadias (Eds.), *The Handbook of New Product Development*, London, United Kingdom. : Elsevier Publishers, 2007.
- [18] TEE, TEE PDM System, <http://tee.gnu.ac.kr>, 2016.
- [19] Wikipedia, Centrality, <https://en.wikipedia.org/wiki/Centrality>, 2016.
- [20] Wikipedia, Social Network Analysis, http://en.wikipedia.org/wiki/Social_network_analysis, 2016.
- [21] Wu, D., Schaefer, D., and Rosen, W.D., Cloud-Based Design and Manufacturing Systems : A Social Network Analysis, *ICED13 International Conference on Engineering Design*, Seoul, Korea, 2013.

ORCID

Chun-Nam Cha | <http://orcid.org/0000-0002-0975-295X>

Namchul Do | <http://orcid.org/0000-0003-2044-3645>