Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 25, No. 4 pp.1-7, November 2006

원자력발전소 교대근무의 작업부하 균형을 위한 휴리스틱 일정관리 기법

김대호[1] · 윤영수[2] · 이용희[1]

[1]한국원자력연구소 계측제어, 인간공학연구부 / [2]조선대학교 경영학부

A Heuristic Approach to the Shift-scheduling Considering the Balance of Work-load in Nuclear Power Plants

DaeHo Kim[1], YoungSu Yun[2], YongHee Lee[1]

[1]Division of Instrumentation & Control, Human Factors, KAERI, Daejeon, 305-353
[2]Department of Business Management, Chosun University, Gwangju, 501-759

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop an efficient algorithm for the management of the shift schedule in nuclear power plants in consideration with the ergonomic criteria and the regulatory codes. The ergonomic criteria considered are the work hours, overtime-work frequency and working time, start and finishing time of works, allocation of rest times and duty-offs, rotating of shifts, etc. to comply with the regulations such as the Labor Standard Act, the ILO Convention No. 171, 178, "the detailed content of a periodic safety review," enforcement regulations 19-2 of the Atomic Energy Act. The developed algorithm for the shift schedule program adopts a heuristic method to minimize the difference the workload for shift workers in nuclear power plants.

Keyword: Shift-schedules, Nuclear Power Plants, Heuristic

1. 서 론

교대근무(Shift Work)란 사업소가 장시간 조업을 하기 위해 작업자를 2개 이상 조로 나누어 각조의 작업자가 같은 날짜의 다른 시간대에 근무하는 방식인 교대근무제와 Part-time형태의 시간제근무제를 의미한다. 교대근무의 일정계획에서는 24시간 연속근무와 같은 작업환경하에서 작업자의 신체적 안전 및 정신적 안정, 회사의 생산성 향상 및 노동비용 감소 등을 동시에 높이기 위하여 여러 개 조로 편성된 작업팀이 일정기간 동안 주기적 혹은 반복적으로 작업을 수행할 수 있도록 효율적인 교대근무 할당 일정계획을 수립하는 것이 중요하다. 효율적인 교대근무 관련 일정계획을 위해서는 근무시간, 시간외 근무 횟수와 시간, 근무시간의 배치, 휴일 회수와 일수, 교대제 편성 등에서 인적요소의 특성과 한계에 대한 고려가 필요하다. 또한 일정계획 수립에 고려해야 할 필수적인 요구사항은 해당 조직의 고유한 상황 또는 특수성을 반영하고 기업의 방침에 부합되도록 계획되어야 한다.

근무 일정관리는 노동과 관련한 국내근로기준법, 국제노동법과 같은 국내외의 법적규제를 만족해야 한다. 특히 원자력발전소의 경우, 교대근무와 관련하여 다른 산업과 동일하게 근로기준법과 국제 노동법(ILO convention No. 171, 178)의 요건이 적용될 뿐만 아니라, 원자력법 시행규칙 19조 2 (주기적 안전성 평가의 세부내용) 제9항(인적요소에 관한

교신저자: 김대호
주 소: 305-600 대전광역시 유성구 덕진동 150번지, 전화: 042-868-2264, E-mail: daeho@kaeri.re.kr

사항)을 만족해야 한다. 원자력법 시행규칙에 따르면 원자로 시설의 안전운전에 영향을 줄 수 있는 다양한 인적요소의 관리상태 확인의 일환으로 교대근무 및 초과근무 등으로 인한 원자력발전소의 안전성 확보 상태를 주기적으로 검토해야 한다.

기존의 교대근무 일정관리 현황은 법적요구사항을 만족하고 있으나, 법적 요건의 준수에만 초점이 맞추어져 있어서 근무자를 위한 다양한 인적요소의 고려는 미흡하다. 실 예로, 대근 및 특근 등과 같은 업무의 변동이 발생할 시에 교대근무자에게 할당되는 작업부하에 대한 체계적인 평가방안이 마련되지 않아 불균형한 작업할당이 이루어지는 경우가 종종 발생하게 된다. 이 경우 초과근무와 인적요소가 고려되지 않은 부적합한 작업할당으로 인해 작업자의 피로가 증가하거나 건강장해가 발생하여 원자력발전소의 안전운전에 부정적인 영향을 줄 수 있다. IAEA의 Safety Standards Series (2002) 등 해외기술기준에서도 이러한 교대근무와 초과근무의 인적요소 관리 필요성을 안전성 측면에서 강조하고 있다.

이에 본 연구에서는 교대근무가 필수적으로 요구되는 원자력발전소를 대상으로, 종사자의 피로를 경감하고 안전운전을 확보하기 위한 일정관리 체계에 적용하기 위하여, 교대근무자의 작업부하 균형을 유지하기 위한 체계적인 근무 일정관리 기법을 제안하고자 한다.

2. 교대근무 일정관리를 위한 요소

교대근무 일정계획은 직원의 근태차원에서 관리되며, 일반적으로 교대근무 일정계획에서 고려되어야할 기본사항은 국제적으로 이용되는 방법(Retenfranz et al., 1976; Shift Work Committee, Japan Association of Industrial Health, 1979)의 기본항목을 고려하였으며, 스케쥴 프로그램을 위한 기본 제약요건을 (Musliu et al., 2004; Aykin, 1996; 2000) 기준으로 하였다.

1) 교대근무 수(Number of shifts): 2교대, 3교대, 4교대 등을 의미하며, 3교대의 경우, 아침근무, 오후근무, 야간근무로 구성된다.

2) 교대근무 길이(Length of shifts): 4)의 교대근무의 형태와 같이 연동하게 되는데 6시간, 8시간, 12시간, 12시간 이상의 근무시간을 가진다.

3) 각 교대근무에서 작업시작시간의 변경가능성(Changeable start time in each shift): 이는 작업시간의 시작시간과 끝나는 시간을 의미한다.

4) 교대근무의 형태(Shift types): 짧은교대, 중간교대, 긴 교대근무로 나눌 수 있다.

5) 각종 휴식시간의 길이 및 수(Lengths and numbers of various breaks e.g. rest break, lunch break, dinner brake, relief break, etc.) (예를들어, 점심, 저녁식사, 화장실 가기 등): 휴식 시간과 휴식 일에 대한 것으로서 휴식시간은 근무중간에 휴식일은 교대근무의 형태에 준하게 된다.

교대근무 수는 교대방식에 따라서 어떤 방식이 가장 좋은 것인가는 선행연구에서도 이견이 있는 요인이다(Matsumoto, 1979). 그러나 선진국의 1960년대 이후, 주 5일근무의 주당 40시간 근무시간이 사회적 시스템으로 구축되어 있고 (Kogi, 1991; Kroemer 1994; ILO, 1994), 원전의 경우 TMI, 체르노빌 사건 이후 교대근무자의 작업부담을 줄여주기 위해서 3교대근무를 권고하고 있으며, 대부분의 원전에서는 3교대근무를 채택하고 있다(NUREG-0737).

교대근무 길이는 2교대 12시간, 3교대 8시간, 4교대 6시간이 근무시간 길이로 정의된다. 근무시간 길이는 성인남자의 혈청굴절율의 시간적인 변동 결과 평균 8시간 이후에는 떨어지는 현상, 심박수, 혈압, 체온, 산소소비량 등의 연구 결과(Volle et al., 1979)가 있으며, 국제 노동현장에서는 하루에 8시간, 일주일에 5일 40시간을 적정작업시간으로 규정하여 시행하고 있고, 우리나라도 근로기준법상에서 따르고 있다. 3교대의 경우는 2교대에 비해서 법정근무시간의 준수가 용이하다.

작업시간(시작시간, 종료시간)은, 예를 들어 3교대일 때 작업시작 시각이 아침 7시라면, 근무시간이 아침근무 7시~15시, 오후근무 15시~23시, 야간근무 23시~7시로 정의된다. 작업의 시작하는 시간과 끝나는 시간은 해당 사업소 특성과 사회적 수송시설 및 지원 프로그램의 유무에 의해 결정하는 것이 바람직하다(Knauth, et al., 1983).

교대근무형태는 짧은형태의 교대근무인 경우 2~3일 정도의 짧은 근무를 하고 다음 근무로 교대하게 된다. 긴 교대근무의 경우 7일 이상의 긴 기간 동안 같은 교대제의 근무를 하고 다음 근무로 교대하게 된다. 교대의 순환주기에 관해서는 이견이 많은데 유럽의 경우는 짧은 순환주기가 선호되며, 미국의 경우는 긴 순환주기가 더 선호된다(Monk, 1986; Hornberger & Knauth, 1995).

휴식일은 교대근무형태에 준하게 되며, 이때 근로기준법과 국제노동기구의 권고사항을 준수하여야 한다. 휴식시간은 작업시간에 포함되는 경우가 많은데, 식사시간, break time, nap sleep 등의 형태를 가진다. 교대근무의 교대에 있어서 최소한 11시간의 휴식시간을 보장해야 하며, 야간근무 후에는 적어도 24시간 이상의 휴식시간이 있어야 한다. 운전종사자의 근무적응 능력 유지를 위해서 4~7일 이상의 연속휴식은 피하는 것이 바람직하다(Barton, et al., 1995).

그 외, 교대근무 일정관리에서의 인간공학적으로 고려해야 될 부분은 생리적 기능 중 circadian rhythm의 고려이다. 생

리적 기능 고려는 근무 rotation방향이 시계방향으로 교대해야 하는 것을 의미한다. 즉, 아침근무 후 오후근무, 오후근무 후 저녁근무로 교대하는 것을 의미하며, 반시계방향 근무는 생리적 기능과 정면으로 역행하는 것이기 때문에 피해야 할 부분이다(Knauth, 1996).

3. 교대근무 일정계획을 위한 모델

3.1 교대근무 일정계획의 일반적 모델

교대근무의 일정관리에 대한 기본적인 수학적 모형은 Dantzig(1954)의 연구에서 살펴볼 수 있다. 그의 모형에서 목표함수는 교대근무기간 동안에 발생하는 작업자당 작업수행 비용의 최소화이며, 이러한 목표를 성취하기 위해 두 개의 제약조건을 제시하였다. Dantzig가 제시한 수학적 모델은 정수계획법(Integer Programming: IP)으로 아래와 같은 모형으로 표시된다.

목표함수 minimize $\sum_{j=1}^{n} c_j \cdot x_j$

제약조건(subject to) $\sum_{j=1}^{n} a_{ij} \cdot x_j \geq r_j, \quad$ for $i = 1, 2, ..., m$

$x_j \geq 0;$ all integer, for $j = 1, 2, ..., n$

n: 교대근무 작업을 나타내는 지수(Index for shifts).
m:: 어떤 특정기간 동안 스케쥴 되는 시간 기간의 수 (Number of time period to be scheduled over a single day).
x_j:: 교대근무 j에 할당되는 작업자 수 (Number of employees assigned to shift j).
r_j: i번째 시간기간 동안에 작업되기 위해 필요한 작업자 수(Number of employees required to work in the ith time period).
c_j:: 교대근무 j에서 작업자가 작업을 수행할 때 발생하는 비용(Cost of having an employee work in shift j).
a_{ij}: 1 or 0
− 1: 시간기간 i가 교대근무 j의 작업기간이라면 (if the time period i is a work period of shift j)
− 0: 그렇지 않을 경우.

일정계획에서 Dantzig의 모형은 소규모 문제에서는 적용가능하나, 규모가 큰 문제에서는 최적해(Optimal solution)을 구하기가 어려우며, 즉 실제 현장에서 사용하기에는 좀 더 많은 현실적인 제약조건들을 고려할 수 있어야 한다. 그 외 Bachtold & Jacobs(1990) 모델은 Dantzig (1954)가 제시한 모델을 교대근무에서 고려되는 각종 휴식시간들을 좀더 유연하게 고려한 제약조건을 추가하여 새로운 IP모델을 제시하였으며, Thompson(1995) 모델에서는 교대근무 시작시각의 변경, 교대근무 길이의 변경 등에 관한 가능성을, Aykin(1996)의 모델은 Danzig(1954)가 제안한 수학모형에 현실적으로 고려되는 훈련비용의 최소화, 주당 실제 수행한 작업시간과 요구된 작업시간 간의 차이를 최소화 등 제약조건을 추가하여 다목적 목표(Multi−objective)를 가진 모형이다. 또한, Aykin(2000)은 Bachtold & Jacobs (1990) 모델에서 고려된 휴식시간의 법적, 사용자와 노동자 협의에 의한 유연성 고려가 가능하도록 개선모델을 제시하였다. Schwarzenau 등(1986)의 연구에서는 조직의 요구와 인간공학적 규약(protocol)을 동시에 만족하는 근무설계범주에 대한 제안과 최적근무 프로그램지원을 위한 알고리즘을 개발하였고, Nachreiner 등(1993)의 연구에서는 컴퓨터를 이용한(computer−aided design) 교대근무 스케쥴에 대한 가능성을 보였다.

그러나, 현재까지의 일정관리 모델들은 근무시간의 법적기준을 고려하는 데에도 그 유연성이 부족하며, 작업자의 생체리듬과 역전하는 back−shift의 제한 등 최근에 부각된 인적요소의 고려가 반영되지 못하고 있다. 또한 작업자의 수행도 유지와 향상을 위한 교육훈련과 휴식 후 업무복귀에 대한 인간공학적 기준의 반영이 없으며, 특히 현장 실무에서의 사용성이 고려되지 못하였다.

3.2 제안된 휴리스틱 접근법

기존의 연구에서 교대근무의 최적할당을 위한 연구가 있었으나 주당 작업 및 휴식시간, 근무교대 관련한 인적요인을 고려한 실제적 제약조건을 고려하지 못하였었다. 따라서 인적요인을 고려한 근무관리를 위해서는 실제적인 제약요건을 단계적으로 만족시킬 수 있는 휴리스틱한 단계적 접근방법이 하나의 대안으로 고려될 수 있다(Nachreiner, et al., 1993).

본 연구에서 제안하는 교대근무 스케쥴 모델의 목적함수는 각 교대조의 작업시간과 휴식시간 합에 대한 차이의 최소화하는 것이다. 목적함수는 다음과 같다.

Minimize $z = d_1 + d_2$ (1)

여기서, d_1: 각 교대조의 작업시간 합의 차이
d_2: 각 교대조의 휴식시간 합의 차이

일반적으로 교대근무 일정계획에서 고려하는 목적함수는 배정되는 작업자의 수를 최적으로 조정(혹은 설계)하기 위하여 관련 비용을 최소화하는 것, 즉 필요이상의 작업자를

두는 경우(Overstaffing)와 필요보다 적은 작업자를 두는 경우(Understaffing)가 발생하지 않도록 교대근무 일정계획을 효율적으로 수립하는 방법을 이용하였다(Bachtold & Jacobs, 1990; Aykin, 1996; Aykin, 2000). Overstaffing이 발생할 경우는 서비스 질 향상과 OJT(On-Job Training) 훈련에는 도움이 될 수 있지만, 작업자 이용율 저하와 과도한 작업자의 증가로 추가적인 노동비용이 증가한다는 단점이 있다. Understaffing이 발생할 경우, 총 노동비용의 감소라는 장점이 있지만 궁극적으로 서비스 질 저하와 작업자에게 과도한 작업부담을 줄 수 있어 안전성 측면에서 위험의 요소가 있다.

그러나, 일정계획의 목적함수에서 비용함수만을 고려하는 경우, 현실적으로 작용하는 제약조건 때문에, 최적 작업자수를 결정하는 것이 가정대로 해결되지 않으며, understaffing이 발생할 가능성이 높다. 이는 안전성과 관련된 직무에서는 인적오류의 주된 원인으로 작용할 수 있다.

따라서, 법적요건과 인적공학적 기준을 만족하는 일정관리 프로그램을 위해서는 각각 교대근무조의 작업부담과 업무량의 차이를 최소화하는 것을 목적으로 하여야 하며, 교대근무조에 소속된 작업자의 작업시간과 휴식시간의 균형화가 필요하다(DaeHo Kim. et al., 2005). 그렇기 때문에 각 교대조의 작업과 휴식시간의 합의 차이가 최소화되어야 한다. 실제 작업장에서 교대작업 스케쥴을 다루는 대부분의 관리자는 수작업으로 작업 스케쥴을 조정 및 통제하고 있기 때문에 교대조간의 작업부하에 있어서 불균형문제를 야기할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 각 교대조에서 발생할 수 있는 작업부하 불균형 문제 해결을 중심으로 현장 실무에서 적용가능한 휴리스틱 접근법을 제안한다. 제안된 방법의 세부 절차는 다음과 같다.

단계 1: 각 교대조의 스케쥴을 위해 근무형태(예: 아침근무(M), 오후근무(A), 야간근무(N), 휴일(B), 교육훈련(T), 지원근무(S)) 중에서 하나를 임의로 발생시킨다.

단계 2: 단계 1에서 발생된 하나의 근무형태를 이용하여 각 교대조의 스케쥴 완성을 위해 가능한 스케쥴을 순서대로 생성한다.

단계 3: 각 교대조에서 d_1과 d_2를 계산한다. 이를 이용하여 수식 (1)에서 보여지는 Z 의 값을 저장한다.

단계 4: 만일 단계 3에서 얻어진 Z 값이 이전에 저장된 Z 값보다 우수하다면, 현재의 Z 값을 저장하고, 이전에 저장된 Z 값은 제거한다.

단계 5: 종료조건

만일 연속 10번의 실행동안 Z 값의 개선이 이루어지지 않거나, 혹은 미리 정의된 종료조건을 만족하면 모든 단계를 종료하고, 그렇지 않으면, 단계 1로 간다.

<그림 1>은 제안된 휴리스틱 절차의 흐름도이다. 본 연구에서 제안된 휴리스틱 알고리즘에서 각 절차의 구체적 실행내용 및 과정은 다음 4. 사례 및 토의에서 설명하였다.

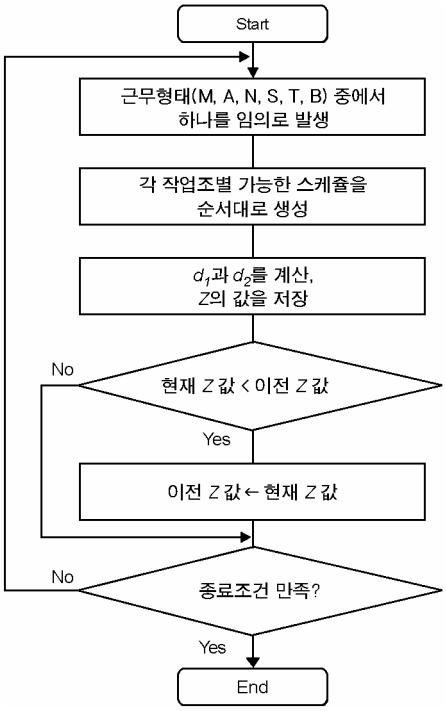

그림 1. 제안된 휴리스틱 절차의 흐름도

4. 사례 및 토의

본 연구에서는 교대근무 일정관리의 적용을 위해서 교대스케쥴 디자인은 원자력발전소의 발전부 운전조의 6조 3교대근무를 대상으로 하였다. 일반적으로 적용되어야 할 교대근무 일정관리를 위한 인간공학적 제약조건으로는 하루 8시간 근무 및 주 5일제 근무하는 것을 기본으로, 주당 40시간 이상 근무 및 교육훈련을 금하는 것과 야간근무 후 휴식일은 생체리듬의 적응과 피로회복을 2일 이상으로 하고, 작업자의 생체리듬의 역행을 방지하기 위해 시계방향으로 스케쥴 되도록 한다(아침근무 → 오후근무 → 야간근무). 즉 Back shift 형태는 고려하지 않는다. 또한 각 교대조는 중복될 수 없도록 한다.

원자력발전소라는 안전성 관련 시설에서의 교대근무제에서 특수성 하에 적용되어야 할 제약요건은 다음과 같다.

원자력발전소의 교대근무제는 6조 3교대 형식을 따르고 있으며, 이 형태는 우리나라 근로기준법에서는 제정하고 있

지 않다. 이는 원자력발전소의 특수한 상황 때문이며, TMI 사건 이후 안전성 확보를 위한 운전원의 기능유지 및 건강관리 차원에서 제안된 내용으로 NUREG-0737의 TMI (Three Mile Island) Action item I.A.1.1 과 I.A.1.3을 만족하고 있다(NUREG-0718). 6조 3교대의 경우 기존 4조 3교대 방식에서 나타나지 않는 주기적 교육훈련(T), 휴일 후 근무적응과 일상 업무(서류 처리 등) 및 OJT을 통한 운전 작업의 지원을 위한 근무(S)가 특이 사항이다. 원자력발전소와 같이 절차서를 기반으로 운전되는 곳은 교육훈련과 운전경험 등의 사전지식이 많이 요구되기 때문에, 정기적인 교육훈련이 필요하며, 이러한 교육훈련은 보수교육 등을 거치게 되고, 교육훈련 프로그램은 자격유지관리와 연결된다. 원자력발전소의 6조 3교대근무는 M, A, N, B, T, S로 구성된다. 각 조의 근무는 아침근무, 오후근무, 야간근무, 휴일, 교육훈련, 휴식일로부터 교대근무로 적응 및 행정업무의 지원을 위한 근무로 이루어지며, S근무는 2일 이상의 휴식일 다음 근무에 하루 배정되는데 이는 오랜 휴식으로 인한 근무적응 문제를 해결하기 위한 조치이다. 연속 휴식일은 4일 이상은 제한하는데, 오랜 기간 휴식은 근무의 연속성과 경험에 있어서 장애 요인으로 작용하기 때문이다. 현재 근무의 길이에 대해서는 논의가 있지만 현장 협의에 의해 결정된 아침근무, 오후근무, 야간근무는 3일씩 근무하는 것을 유지하고 있다. 교육훈련은 자격면허 유지를 위한 최소 교육훈련일정(3주 연속)을 고려하고 있다. 교대 설계는 작업자와 관리자 및 교육훈련을 위해서 예측가능 하도록 적어도 180일(6개월)을 스케쥴 할 수 있어야 한다.

3.2절에서 제안된 휴리스틱 절차를 이용한 수치적 예제는 다음과 같다. 우선, 어떤 규정된 작업기간 동안에 각 교대조 사이에서 발생하는 작업부하의 차이는 M, A, N, S, T, B 사이에서 어떤 교대형태가 각 교대조의 초기단계에서 선택되느냐에 크게 의존하기 때문에 우선적으로 교대형태를 선택하게 된다. 예를 들어, 만일 교대조 1이 초기단계에 M 교대형태가 선택될 경우에 다음과 같은 스케쥴 설정이 가능하다.

Workgroup 1: MMMBBAAABNNNBBS (2)

(2)는 위에서 언급된 가정과 제약조건을 만족하는 가정하에서 설계되어질 수 있다. 반대의 경우로 만일 교대조 2에 교대형태 B가 초기에 할당될 경우에 다음과 같은 스케쥴이 가능하다.

Workgroup 2: BBAAABNNNBBSMMM (3)

(2)와 (3)의 두 개의 가능 스케쥴은 규정된 작업기간 내에서 반복적으로 할당된다. 만일 규정된 작업기간이 20일이라면 교대조 1과 2를 위한 가능 스케쥴은 다음과 같다.

Workgroup 1: MMMBBAAABNNNBBSMMMBB (4)

Workgroup 2: BBAAABNNNBBSMMMBBAAA (5)

(4)에서 교대형태 M과 N이 발생되는 횟수는 각각 6, 3회이다. 반면에 표현 (5)에서 M과 N이 발생되는 횟수는 각각 3, 6회이다 따라서 교대형태 M과 N에서 발생하는 작업부하의 차이는 각각 50%이다.

<그림 2>는 종료조건(여기서는 100번의 반복수) 이후에 생성된 각 교대조를 위한 최적 스케쥴을 보여주고 있다. 예를 들어, 교대조 1과 6에서 작업부하(M, A, N, S, T를 포함)의 합은 13이다. 또한 교대조 2, 3, 4, 5의 경우는 그 합이 14이다. 이것은 각 교대조간의 작업부하의 차이가 거의 없다는 것을 의미한다. 이러한 결과는 각 교대조간의 휴식시간의 합에서도 거의 차이가 없다는 것을 또한 의미한다.

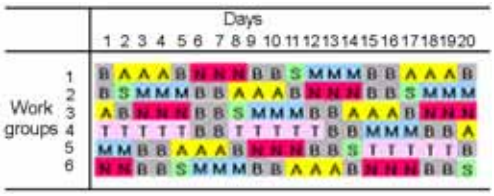

그림 2. 각 교대제를 위한 최적 스케쥴

<그림 3>은 본 연구에서 제안된 휴리스틱 기법에 의해 스케쥴된 교대근무 최적 스케쥴의 교대조 workgroup 1과 6조의 세 명의 운전원을 대상으로 한 일정계획의 시뮬레이션 결과이다.

<그림 3>은 본 연구에서 제안된 알고리즘을 시뮬레이션한

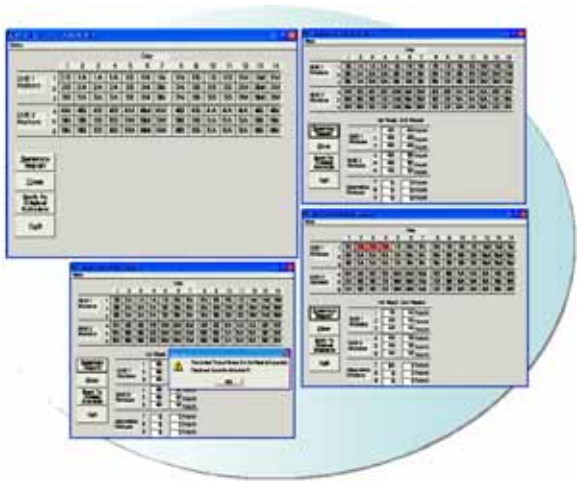

그림 3. 시뮬레이션된 교대조의 근무스케쥴 예

결과의 예를 나타낸 것으로, 주당 40시간의 개인별 법적근무시간의 준수를 위한 근무할당에서의 개인별 근무시간 준수 여부에 대한 체크 여부, overtime 발생시 법적노동시간의 의무사항을 준수하고 있는지에 대한 검토, 대근이나 특근, 휴가 등의 발생시 근무 스케쥴의 할당의 재조정에 용이하도록 하는 것과 그리고 법적, 인적요소 관련 기준을 부합하지 못한 경우 할당의 불가능할 수 있도록 하는 등의 현장의 실무적인 활용성에 대한 고려가 있다.

Nachreiner 등(1993)의 연구는 조직의 요구와 인간공학적인 규약을 동시에 만족해야 하는 범주를 가지고 있는데, 이와 같은 제약조건을 PC를 이용하여 근무설계를 하기 위한 것이다. Nachreiner 등(1993)의 연구에서는 교대근무 일정의 설정을 위하여 교대근무 기간과 시작시간, 교대근무 순서 등이 제약요건으로서 고려된다. Gärtner(1998)의 SPA 2.0에서도 근무의 시작시간을 고려하여 다양한 근무에 적용(M: 아침근무, E: 오후근무, E2: 긴 오후근무, N: 야간근무, D1: 낮근무, D2: 짧은 낮근무, R, R2: 보류)의 확장성을 보였다. 본 연구는 선행연구의 기본적인 요소는 충족하며, 기존의 연구에서 고려되지 못하였던 생체기능의 고려(backshift 고려), 법적근무시간과 인간공학적 근무관련 기준(휴식일, 휴식시간, overtime제한 등)의 준수(ANSI/ANS 3.2, 1994)등의 기준을 보완하였다.

본 연구에서 제안한 교대근무 일정관리 알고리즘요소는 원전이나 공공기관의 근무와 같이 심야근무를 포함하며, 1년을 기준으로 매일 24시간 조업을 연속해서 작업을 하는 근무를 가정한 것이었다. 그러나 생산성과 작업비용이 우선적으로 고려되는 일반산업체에 유연하게 적용하기 위해서는 Retenfranz et al.(1976)와 Shift Work Committee(Japan Association of Industrial Health, 1979), 서유진 외(2003) 등의 연구에서 고려하는 심야근무의 포함여부, 24시간 연속조업여부 등의 요건도 고려되어야 할 요소이다.

5. 결 론

본 논문은 원자력발전소의 운전종사자를 대상으로 작업부담과 업무량 차이를 최소화하는 인적요소를 고려한 교대근무 일정관리 알고리즘을 제시하였다. 본 연구에서 제안하는 알고리즘은 원자력발전소와 같이 24시간 연속근무지원이 필요한 공공시설 및 산업 현장에서 작업자의 피로와 작업부담에 의한 인적오류를 방지하고, 그 시스템의 안전성 확보를 최우선으로 하는 현장 운영관리 프로그램으로 적용가능하다.

제안된 알고리즘은 근무 일정관리의 실무적인 효율성을 높이기 위해 간단히 전산 프로그램으로 개발되었다. 또한, 조직의 상황과 근무목적에 부합할 수 있는 다양한 교대근무형태에서도 적용될 수 있으며, 교대근무형태로의 변경, 교육훈련기간 변경 등의 다른 외부 환경요소들의 변화를 제약조건으로 추가할 수 있다.

일반적으로 일정계획의 편의성을 위해 단일 목적을 사용하는 경우가 많으며, 본연구에도 업무부담의 균등화라는 단일 목적함수를 고려하였다. 기존 연구에서도 조직의 비용부담과 생산성 향상을 위한 경제적인 관점에서 고려되는 비용함수를 단일목적으로 고려하는 경우가 대부분이다. 향후 생산성과 안전성 등 관련 현안들이 다수의 목적으로 제기될 경우는 그 현안들을 해결할 다목적에 의한 일정계획이 요구되며 그에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다. 현재 원전의 교대근무일정은 교육훈련 및 자격관리 현황과 연동되어진다. 그러나, 특근, 대근, 병가, 그리고 휴가 등 불확실성한 상황에서 근무외 고려되어야 할 요건(취급자격, 교육훈련 만족여부 등)의 고려도 필요하다. 변화하는 근무환경과 노동관련 법적요건의 충족을 위해서 보다 유연한 알고리즘으로 확장하는 추가 연구가 필요하다

참고 문헌

ANSI/ANS 3.2., Administrative controls and quality assurance for the operational phase of nuclear power plants, 1994.

Aykin, T., A comparative evaluation of modeling approaches to the labor shift scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, 125, 381-397, 2000.

Aykin, T., Optimal shift scheduling with multiple break windows, *Management Science*, 42(4), 591-602, 1996.

Bachtold, S. E. and Jacobs, L. W., Implicit modeling of flexible break assignments in optimal shift scheduling, *Management Science*, 36(11), 1339-1351, 1990.

Barton, J. et al., Is there an optimum number of night shifts? relationship between sleep, health and well-being, *Work and Stress*, 9, 109-123, 1995.

Dae Ho Kim, Young Su Yun, YongHee Lee, Heuristic approach for balancing shift schedules, *Proceedings of Korean Nuclear Society*, 2005.

Dantzig, G., A common on edie's traffic delay at toll booths, *Operations Research*, 2(3), 339-341, 1954.

Gärtner, J & Wahl, S., Design tools for shift schedules: empowering assistance for skilled designers & groups, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 21, 221-232, 1998.

Hornberger, S. & Knauth, P., Effects of various types of change in shift schedules: a controlled longitudinal study, *Work and Stress*, 9, 124 -133, 1995.

IAEA Safety Standards Series, Periodic safety review of nuclear power plants, DS 307, Draft 9, 2002.

International Labour Office., *Conditions of work digest*, 13, 441-466, 1994.
International Labour Office., The nightwork convention No 171.
International Labour Office., The nightwork convention No 178.
Knauth, P. et al., Analysis of 120 shift systems of the police in the federal republic of Germany, *Applied Ergonomics*, 14, 133-137, 1983.
Knauth, P., Designing better shift systems, *Applied Ergonomics*, 27, 39-44, 1996.
Kogi, K., Job content and working time: the scope for joint change, *Ergonomics*, 34, 757-773, 1991.
Kroemer, K. H. E., Ergonomics: how to design for ease and efficiency, Prentice Hall, 1994.
Matsumoto, T., Shift intervals of hospital nurses and sleep deficit, *Journal of human Ergology*, 8(10), 70, 1979.
Monk, T., Advantages and disadvantage of rapidly rotating shift schedules - a circadian viewpoint, *Human Factors*, 28, 553-557, 1986.
Musliu, N. Schaerf, A. and Slany, W., Local search for shift design, *European Journal of Operational Research*, 153, 51-64, 2004.
Nachreiner, F. et al., Computer-aided design of shift schedules, *Ergonomics*, 36, 77-83, 1993.
NUREG-0718, Licensing requirements for pending applications for constructions permits and manufacturing license.
NUREG-0737, Clarifications of TMI action plan requirements.
Rutenfranz, J, Knauth, P. and Colquhoun, W., Hours of work and shift work, *Ergonomics*, 19, 331-340, 1976.
Schwarzenau, P. et al., Algorithm for the computerized construction of shift systems which meet ergonomic criteria, *Applied Ergonomics*, 17, 169-176, 1986.
Shift Work Committee, Japan Association of Industrial Health, Opinion on night work and shift work, *The Journal of Science of Labor*, 55(part II), 1-36. 1979.
Thompson, G. M., Improved implicit optimal modeling of the labor shift scheduling problem, *Management Science*, 41(4), 595-607, 1995.
Volle, M., et al., Compressed work week: psycho-physiological and psychological repercussions, *Ergonomics*, 22(9), 1001, 1979.
근로기준법 68201-574.
서유진 외, 근로시간 및 교대근무편성의 문제점과 개선방향, *대한인간공학회지*, 22(3), 13-26, 2003.
원자력법시행규칙 제19조의2 제9호.

저자 소개

❖ 김 대 호 ❖ daeho@kaeri.re.k
건국대학교 산업공학과 공학박사
현 재: 한국원자력연구소 계측제어인간공학연구부 Post-Doc
관심분야: 교대근무, 직무스트레스/만족, 근무관리, 산업안전

❖ 윤 영 수 ❖ joy629@hitel.net
건국대학교 산업공학과 공학박사
와세다대학교 정보생산시스템대학원 공학박사
현 재: 조선대학교 경영학부 교수
관심분야: 스케쥴링, GA, SCM

❖ 이 용 희 ❖ yhlee@kaeri.re.kr
서울대학교 산업공학과 공학석사
현 재: 한국원자력연구소 계측제어인간공학연구부 책임연구원
관심분야: 인적오류, MMI, PL

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2006년 03월 08일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2006년 06월 29일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2006년 08월 07일