

브랜치 시스템을 이용한 다중 가스전 취합 시스템의 최적화 기법

노정용¹⁾ · 강주명¹⁾ · 최종근²⁾ · 류상수³⁾ · 임중세⁴⁾

1. 서 론

이 연구는 가스전 생산 시스템 해석 기법에 관한 것으로, 여러 개의 저류층이 있고 각각의 저류층이 다수의 생산정을 포함하고 있는 시스템에서 가스를 생산할 때, 취합지에서 요구하는 생산량을 맞추기 위해서 각각의 생산정이 생산해야 할 최적 생산량을 결정하는 해석 기법의 개발을 목적으로 한다.

Fig. 1은 각각의 가스전에 설치된 여러 개의 생산정과 이들 가스전이 하나의 취합 시스템에 연결된 상태를 나타낸다. 그림에서 보면 알 수 있듯이 이들은 복잡한 구조를 가지고 있으며, 이를 해석하는데 상당한 어려움이 있어, 보다 강력하고 효율적인 해석법을 개발하고자 많은 사람들이 노력해왔다. 그리고 저류층에서 취합 기관을 하나의 시스템으로 구성하여 해석하였으며, 이 때문에 해석법의 정확도가 높을수록 시스템을 해석하는데 더욱 많은 시간이 요구되었다.¹⁻⁵

이 연구에서는 각각의 생산정에서 취합 기관까지를 여러 개의 브랜치 시스템으로 구성하여 전체 시스템을 해석하였다. 브랜치 시스템을 이용하여 전체 시스템을 구성하면 모든 브랜치 시스템은 동일한 구조를 가지므로 하나의 최적화 알고리즘으로 모든 브랜치 시스템을 해석할 수 있다. 이러한 최적화 작업은 각각의 브랜치별로 수행되며, 한 번에 해석해야 하는 시스템의 규모를 브랜치 시스템의 규모로 줄임으로써 기존 방법보다 빠르고 효과적으로 전체 시스템을 해석할 수 있다. 또한, 이 기법의 가장 큰 특징은 정해진 일정 유량을 맞추기 위해서 각각의 브랜치 시스템의 중심 노드에서 압력을 수렴시킨다는 점이다. 그리고, 각각의 저류층은 독립적이므로 저류층 사이에 간섭이 없다고 볼 수 있고, 동일한 저류층에 시추된 여러 생산정들 사이에는 수리적으로 간섭이 있기 때문에 생산량 결정에 이를 고려하게 된다.⁶ 또한, 가스가 저류층에서 지상의 취합지까지의 생산시스템을 따라 유동할 때 온도와 압력의 변화에 따른 상거동 모델을 적용한다.

2. 생산시스템 최적화

브랜치 시스템을 이용하여 전체 시스템을 구성하면 모든 브랜치 시스템은 동일한 구조를 가지므로 동일한 최적화 알고리즘 기법을 모든 브랜치 시스템에 적용할 수 있다. 브랜치 시스템의 종류는 두 가지인데, 하나의 가스전에 설치된 여러 개의 생산정을 가스전에서 취합하는 저류층 브랜치 시스템(reservoir branch system)과 여러 가스전을 하나의 취합기관으로 연결하는 지상 브랜치 시스템(surface branch system)으로 구성된다(Fig. 2).

여러 개의 저류층을 다루는 경우, 한 시스템의 격자 구조에 모든 저류층을 나타내어야하므로 그 규모가 매우 커지며, 이를 해석하는데 많은 시간이 소요된다. 또한, 한 번에 다루는 시스템의 규모가 커서, 모든 변수들에 대한 최적화 조건을 찾기 위해서는 많은 알고리즘의 반복 수행이 필요하다. 이 연구에서 제시한 기법은 하나의 독립적인 저류층을 해석할 수 있는 규모의 알고리즘만으로 여러 개의 저류층을 다룰 수 있으므로, 많은 수의 서로 독립적인 저류층들을 효율적으로 해석할 수 있다. 저류층에서 취합기관까지의 생산 시스템을 여러 개의 브랜치 시스템으로 나누어 최적화하는 과정은 Fig. 3에 나타나 있다.

이 연구에서 브랜치 시스템을 수행할 때, 주어진 가스 유량에서 압력이 수렴하지 않으면 개선 인자에 임의의 값이 아닌 전 단계의 상황을 고려한 값을 준다. 그리고 한 번의 개선 과정에 하나의 값만

을 개선하는 것이 아니라 매 단계마다 모든 결정 변수를 동시에 개선함으로써 수렴의 효율성을 높였다.

3. 알고리즘 수행능력 비교

이 연구에서 개발된 알고리즘의 수행 능력을 알아보기 위해서 Palke와 Horne(1997)이 다룬 생산 시스템의 알고리즘 수행 능력과 비교해 보았고, 이 연구에서 개발된 기법을 적용한 결과가 Palke와 Horne의 결과에 비해서 효율적이라고 할 수 있다(Table 1, Table 2). 또한 Palke와 Horne이 제시한 알고리즘 반복수행 횟수는 전체 시스템을 해석하는 횟수인데 비해서 이 연구에서 제시한 알고리즘 반복 수행 횟수는 하나의 브랜치 시스템을 해석하는 횟수이므로 그 효율성이 더욱 높다.

4. 현장자료 적용

Field AA의 가체 매장량 규모는 약 2,000억 입방피트의 가스이며, 저류층은 주로 세립질 사암으로 구성된 총 네 개의 사암층으로 이루어져 있으며, 공극률이 14 ~ 17 %이고 유체투과율이 10 ~ 80 md 정도이다. Field AA의 유체성분은 C₁과 C₂ 성분이 90 %를 넘고 있다.

이상의 자료를 바탕으로 생산 시뮬레이션을 수행하였다. 저류층 평균압력의 변화 추이를 기존 방법에 의한 분석 결과와 비교해 본 결과, 기존 방법보다 600 psia 정도 이상 더 높은 저류층 압력을 유지하고 있다(Fig. 4). Fig. 5는 정두에서의 압력변화 추이를 본 것이다. 11.5년간의 생산량을 비교해 보면, 기존 연구의 생산 시뮬레이션에서는 총 생산량이 198 Bscf이고 이 연구의 생산 시뮬레이션에서는 총 생산량이 210 Bscf이다. 즉 이 연구의 결과가 기존 연구의 결과보다 가스 회수율이 6% 정도 증가하였고 압축기 가동 시점을 늦출 수 있었다.

따라서 이 연구에서 제안한 방법으로 생산 시스템을 분석하면, 다중 가스전에서 하나의 취합기관으로 생산하는 시스템 최적화를 빠르고 효율적으로 수행할 수 있다.

5. 결 론

이 연구에서 개발된 기법은 기존 기법보다 생산 시뮬레이션 수행이 매우 빠르고 효율적이었다. 즉, 브랜치 시스템을 사용하여 전체 생산 시스템을 간단하게 구성할 수 있었고, 생산량 개선 과정에서 생산 시스템의 상황을 반영하고 한 번의 개선 과정에서 모든 결정 변수를 동시에 개선함으로써 수렴성과 해석의 효율성을 높였다.

이 연구에서 개발된 기법을 Field AA에 적용하여 11.5년간 생산 시뮬레이션을 수행한 결과, 기존 방법보다 초기 저류층 압력의 약 17% 정도인 약 600 psia의 더 높은 저류층 압력을 유지할 수 있었다. 따라서 그만큼 가스 회수율도 증가하는데 11.5년간의 회수율을 비교해 보면, 기존 연구의 생산 시뮬레이션에서는 총 생산량이 198 Bscf이고 이 연구의 생산 시뮬레이션에서는 총 생산량이 210 Bscf로서 기존 연구의 결과보다 약 6% 정도 높았다.

개발된 기법은 여러 저류층에서 생산되는 탄화수소를 하나의 취합지로 수합하는 생산 시스템에서 전체 생산 수준이 정해져 있는 경우에 각각의 생산점이 가져야 할 최적 생산 조건을 찾는 기법으로서 해석의 효율성이 높다.

6. 참고문헌

- [1] Bohannon, J.M., 1970, "A Linear Programming Model for Optimum Development of Multi-Reservoir Pipeline Systems," *JPT*, pp. 1429-1436.
- [2] Carroll, J.A. and Horne, R.N., 1992, "Multivariate Optimization of Production Systems," *JPT*, pp. 782-790.
- [3] Flanigan, O., 1972, "Constrained Derivatives in Natural Gas Pipeline System Optimization," *JPT*, pp. 549-556.
- [4] Fuji, H. and Horne, R.N., 1995, "Multivariate Optimization of Networked Production Systems," *SPEPF*, pp. 165-171.
- [5] Palke, M.R. and Horne, R.N., 1997, "Nonlinear Optimization of Well Production Considering Gas Lift and Phase Behavior," SPE 37428 presented at the SPE Production Operations Symposium, Oklahoma City, Oklahoma, U.S.A.
- [6] Peaceman, D.W., 1978, "Interpretation of Well-Block Pressures in Numerical Reservoir Simulation," *SPEJ*, pp. 183-194.

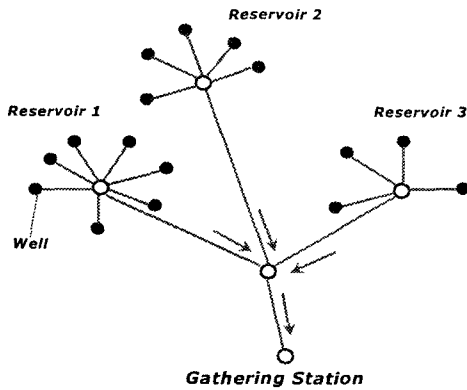


Fig. 1. Gas Gathering Network Including Total Connections.

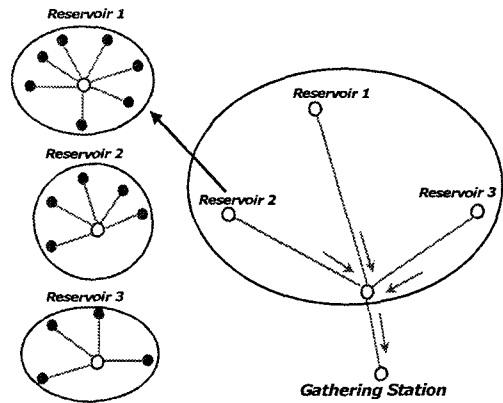


Fig. 2. Separation Model into Reservoir Branch System and Surface Branch System.

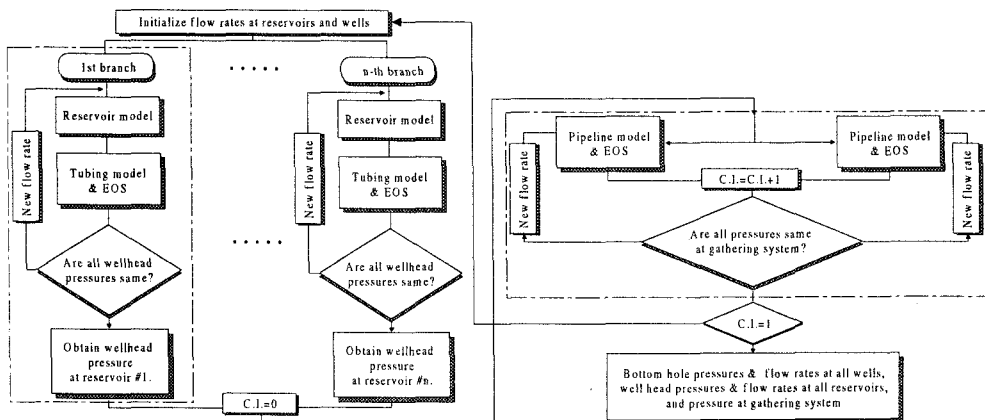


Fig. 3. The Algorithm of Production Optimization.

Table 1. The number of algorithm evaluation(Palke & Horne)

	Newton type method	Polytope algorithm	Genetic algorithm
	결정변수 개수: 2		
알고리즘 반복횟수	154	64	218 ~ 436
	결정변수 개수: 8		
알고리즘 반복횟수	N/A	302	3120

Table 2. The number of algorithm evaluation(New method)

	New method		
3 Reservoirs, 5 Wells, 결정변수 개수: 5	Reservoir 1(1 Well)	Reservoir 2(2 Wells)	Reservoir 3(2 Wells)
저류층 브랜치 반복횟수	0	3	3
지상 브랜치 반복횟수	7		

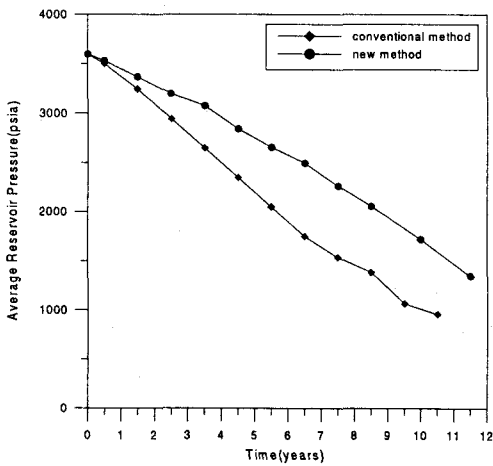


Fig. 4. Variation of Average Reservoir Pressure for the Field AA(50 MMscf/D)

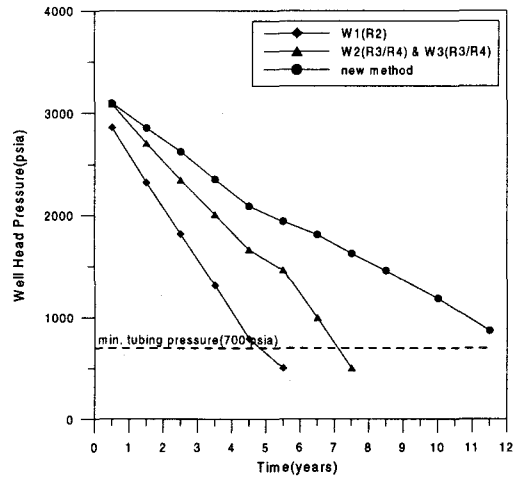


Fig. 5. Variation of Well Head Pressure for the Field AA(50 MMscf/D)

주요어: 다중 가스전, 생산 시스템, 브랜치 시스템, 최적 생산 조건

- 1) 서울대학교 공학연구소
- 2) 서울대학교 지구환경시스템공학부
- 3) 한국석유공사 가스개발사업단
- 4) 한국해양대학교 해양개발공학부