

# 대구경 고압 T형 분기관의 지관 형상에 따른 내부 유동 영향성 해석

조철희 · 김명주 · 조석진 · 황수진<sup>†</sup>  
인하대학교 조선해양공학과

## A Study on Internal Flow Characteristics of T Branch using CFD Analysis

CHUL HEE JO, MYEONG JOO KIM, SEOK JIN CHO, SU JIN HWANG<sup>†</sup>

Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Inha University, 100 Inha-ro, Nam-gu, Incheon, 22212, Korea

**Abstract** >> This study describes the effect of T branch shape on internal flow characteristics inside itself. Continuity and three-dimensional Reynolds-averaged Navier-Stokes equation have been used as governing equations for the numerical analysis. The T branch was modeled assuming that it is used for Alaska pipeline project which was planned to provide reliable transportation of natural gas from ANS to Alaska-Yukon border. Therefore the characteristics of T branch and operating condition of pipeline were from report of Alaska pipeline project. The nine T branch shapes were analyzed and the mass flow rate ratio between mainline and branch was assumed to be 0.95 : 0.05, 0.9 : 0.1, 0.85 : 0.15. The results shows that there are typical flow patterns in T branch and the shape of T branch makes some differences to the internal flow of branch rather than mainline.

**Key words** : T branch(T형 분기관), Natural gas pipeline(천연가스 이송배관), Computational Fluid Dynamics(전산유체역학), Three-dimensional numerical model(삼차원 수치모델)

### 1. 서 론

전 세계 미 발견 석유·가스 탐사 자원량의 22%가 영구동토를 포함한 극한지에 매장되어 있어<sup>1)</sup> 에너지 관점에서 극지 및 동토지역의 중요성이 증대됨에 따라 극한지에서의 자원의 채굴 및 이송에 관한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

러시아의 시베리아 및 미국의 알래스카 등의 동토 지역에서 생산된 천연가스는 주로 배관망을 통해서 소비지까지 이송된다. 이러한 배관망은 수백~수천

km거리에 설치되고 운영되기 때문에 대구경 고압배관이 사용되며 Alaska natural gas pipeline project의 경우 직경 48 inch의 배관을 설계압력 17.2 MPa로 운용할 계획을 발표하였다<sup>2)</sup>.

우리나라의 경우 천연가스를 비롯한 대부분의 천연자원을 수입에 의존하고 있으며, 에너지경제연구원에 따르면 2014년에 37,107,000톤의 LNG를 수입하였으며<sup>3)</sup> 전량 선박을 통해 수송되었다. 이러한 방식의 에너지 수입은 막대한 비용이 소요되기 때문에 이를 절감하기 위해 배관망을 설치하여 천연가스를 이송하는 방안이 검토되고 있다.

그러나 국내 천연가스 배관의 직경은 30 inch이고 약 7 MPa의 운전압력으로 운영되고 있으며, 장거리

<sup>†</sup>Corresponding author : sjhwang@inha.edu

Received : 2015.8.20 in revised form : 2015.10.1 Accepted : 2015.10.30

Copyright © 2015 KHNES

천연가스 이송에 사용되는 대구경 고압배관에 대한 설계, 운용 경험은 전무한 실정이다.

이러한 상황을 극복하고 극한지 자원에 대한 접근성을 높이기 위해 동토지역 자원이송망에 대한 연구가 수행되고 있다. 본 연구에서는 유동해석을 사용하여 극한지 배관망의 중간 가스공급지점에서 주관에 흐르는 천연가스를 지관으로 분배해주는 T형 분기관에서 지관의 형태에 따른 주관의 내부 유동 영향성을 확인하였다.

유동해석을 위해 요구되는 배관의 설계 및 운영 조건 등은 Alaska pipeline project의 보고서에서 발표된 자료를 참고하였으며, 지관의 형상이 변함에 따라 주관의 유동에 어떠한 영향성이 있는지 확인하고 이러한 내부 유동이 지관으로 분배되는 천연가스의 공급량에 따라 어떻게 변하는지 분석하였다.

## 2. 유동해석

### 2.1 해석모델

Table 1과 같이 지관의 형상에 따른 주관 유동의 영향성을 확인할 수 있도록 주관과 지관의 곡관부와의 거리는 1D, 3D, 5D로, 곡관부 곡률은 3R, 5R, 7R로 선정하였다. 또한 분기점에서 완전발달유동이 되도록 분기점 중심에서 입구까지의 거리는 25D, 출구

Table 1 T-branch specification

Description	Specification
Diameter (D)	1,219mm (48inch)
Thickness (t)	23.8mm (0.932inch)
Radius of branch (Rb)	3R, 5R, 7R
Distance (A)	1D, 3D, 5D



Fig. 1 1D-3R T branch configuration

까지는 35D로 모델링하였다. Fig. 1은 주관과 지관의 곡관부와의 거리가 1D이고, 곡관부 곡률이 3R인 T형 분기관(1D-3R T branch)이다. 여기에서 D는 배관의 내경이며, R은 반경이다.

본 연구의 해석대상은 극한지의 대구경 고압 천연가스 이송배관의 중간 가스공급지점에 설치되는 T형 분기관이다. Alaska pipeline project에서 발표된 바와 같이 배관의 직경은 48inch, 두께는 0.932inch로 선정하였다<sup>2)</sup>.

### 2.2 격자생성

유동해석은 상용코드인 ANSYS Fluent v.13을 사용하여 수행하였다. 원활한 수렴 및 결과의 신뢰성을 위해 전체 유동장을 정렬격자로 구성하였으며, 경계층의 모사를 위해 배관 내벽 근처의 격자를 조밀하게 형성하였다.

적정한 수준의 격자수를 결정하기 위해 내부유동이 가장 불안전할 것으로 판단되는 1D-3R T branch에 대해 격자 의존도 시험을 수행하였으며, 그 결과는 Fig. 2와 같다. 약 150만개 수준의 격자에서도 압

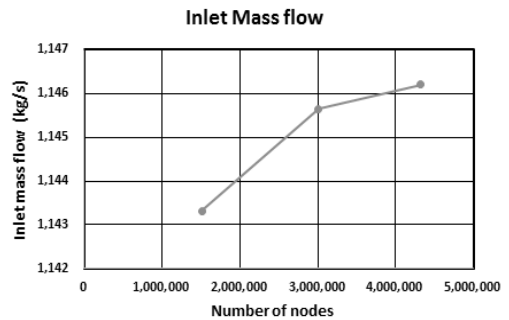


Fig. 2 Grid dependency test (1D-3R T branch)

력, 질량유량, 유속 등의 변수에 대한 오차는 적게 나타났으나, 내부유동의 패턴이 더 많은 격자를 사용한 경우와 다르게 나타났기 때문에 최종 해석은 유동패턴이 수렴한 약 300만개의 격자를 사용하여 수행하였다.

### 2.3 경계조건

해석을 위해 필요한 조건은 Alaska pipeline project의 보고서를 참고하여 Table 2와 같이 설정하였다. 입구는 Alaska pipeline의 설계압력인 17.2 MPa과 영구동토층에서의 운용온도인  $-1^{\circ}\text{C}$ 를 적용하였으며<sup>2)</sup>, 주관과 지관의 출구는 Alaska main line의 공급량 및 주관과 지관의 유량비를 바탕으로 산정한 유속조건을 각각 적용하였다. 주관과 지관의 유량비는 0.95 : 0.05, 0.9 : 0.1, 0.85 : 0.15로 가정하였다.

배관 내부의 작동유체는 Species transport model을 사용하여 Alaska pipeline project에서 발표한 Table 3의 Lean gas의 조성을 구현하도록 설정하였으며<sup>2)</sup>, 내

**Table 2** Boundary condition and Model

Description	Analysis condition
Inlet	Total pressure : 17.2MPa Total temperature : $-1^{\circ}\text{C}$
Outlet1	Velocity Magnitude : 7.39, 7.00, 6.61 m/s
Outlet2	Velocity Magnitude : 0.39, 0.78, 1.17 m/s
Wall	Shear Condition : No-slip Roughness Height : 0.04572mm
Turbulence Model	k- $\epsilon$ Realizable (Standard wall function)

**Table 3** T-branch specification

Gas Component	Lean Gas (MOLE %)
N <sub>2</sub>	0.7
CO <sub>2</sub>	1.5
C <sub>1</sub>	89.9
C <sub>2</sub>	5.8
C <sub>3</sub>	1.7
C <sub>4</sub>	0.3
C <sub>5</sub>	0.1

부 유체의 밀도는 ideal gas를 적용하여 온도 및 압력이 고려될 수 있도록 설정하였다. 본 해석모델의 경우 천연가스의 밀도는 약  $138 \text{ kg/m}^3$ 으로 계산되었다.

배관 내벽의 표면거칠기는 일반적으로 강철배관에서 사용되는 0.04572 mm를 적용하였다. 난류모델은 비교적 단순한 유동에서 정확도가 높다고 알려진 k- $\epsilon$  realizable model을 사용하였으며<sup>4)</sup>, 배관 내벽 경계층을 모사하기 위해 Standard wall function을 적용하였다.

해석 초기에 변수가 발산하지 않고 안정적으로 수렴할 수 있도록 Full Multigrid initialization (FMG initialization)을 사용하여 유동장을 초기화하였다.

### 2.4 해석결과

Fig. 3은 주관과 지관의 곡관부와의 거리가 1D인 경우 곡관부의 곡률에 따른 분기관의 속도분포를 나타낸 것이다. 분기관의 상류로부터 유입된 천연가스의 일부가 분기관의 지관으로 분배되면서 주관의 유속이 낮아지는 경향을 보였으며, 유량비에 따른 주관 후류의 유속감소를 및 유동특성은 지관의 곡관부 곡률이 변하여도 동일한 경향성이 나타났다.

이렇게 분기관에서 지관의 곡관부 곡률이 주관 후류의 내부 유동에 미치는 영향이 작은 것은 대구경 고압배관의 분기관에서는 주관에서 지관으로 흘러나가는 유동의 특성이 달라져도 지관의 유량이 전체 유량에 비해 작으면 주관을 흐르는 내부유체의 관성이 강하게 작용하여 주관의 유동이 큰 변화를 보이지 않기 때문이다.

지관으로 흘러들어가는 유량이 증가함에 따라 주관 후류의 유동이 지관 쪽으로 치우치는 현상이 발생하였고, 특히 유량비가 0.85 : 0.15인 경우 확연히 나타났다. 이러한 현상은 지관으로 유입되는 유동이 증가함에 따라 분기점에서 주관 후류의 지관 쪽 유량이 급감하여 발생하였다. 주관에서 지관으로 흐르는 유량은 지관의 형상과 무관하게 지관 후단의 밸

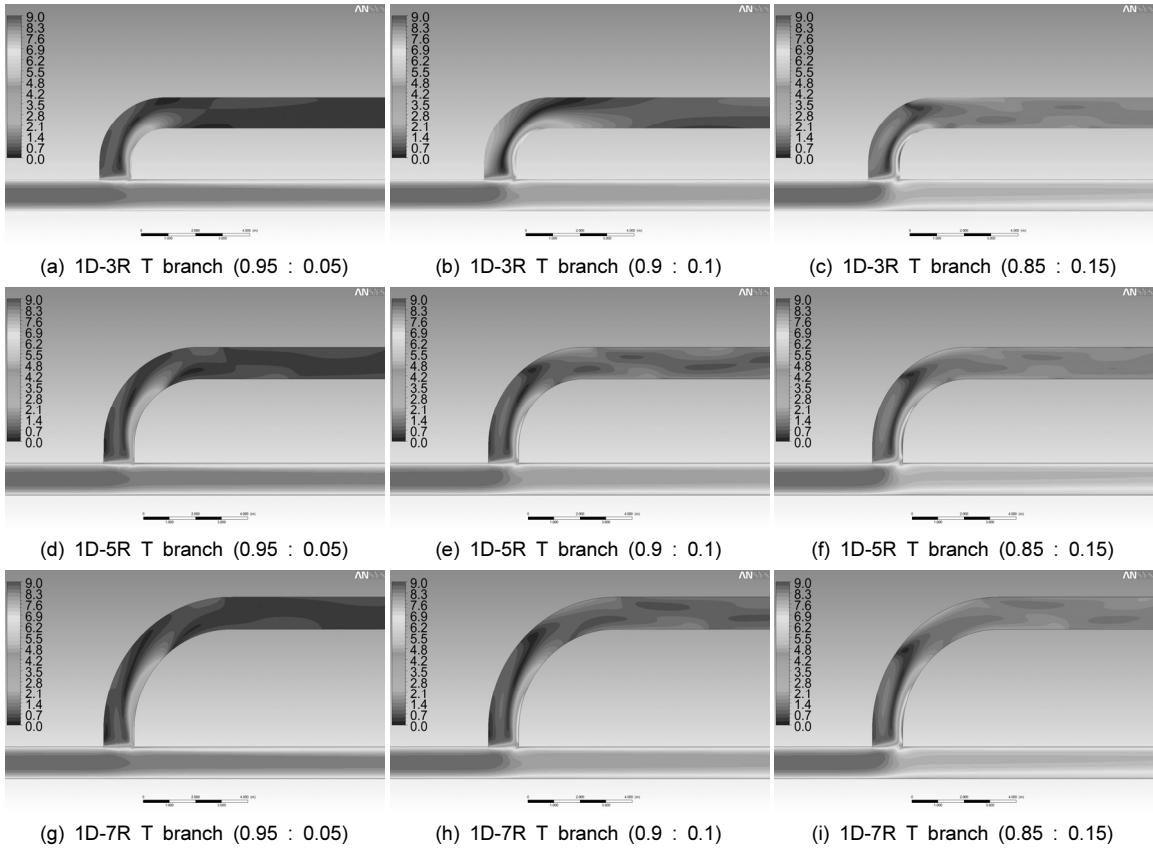


Fig. 3 Velocity contours (1D-XR T branch)

브를 통해 조절되기 때문에 주관의 후류에서 발생하는 이러한 현상 또한 지관 곡관부의 곡률에 무관한 것으로 나타났다. 따라서 T형 분기관에서 지관의 곡관부 형상은 주관의 유동에는 영향이 없으며, 지관의 곡관부에서의 유동패턴에만 영향을 미치는 것으로 사료된다.

Fig. 4는 주관과 지관의 곡관부와의 거리가 1D인 경우 곡관부 곡률에 따른 분기관 내부 유동의 난류운동 에너지를 나타낸 것이다. 앞에서 언급하였듯이 분기관에서 주관의 내부 유동에는 큰 교란이 발생하지 않기 때문에 난류강도가 낮게 유지되는 것으로 나타났다.

주관을 따라 흐르던 천연가스의 관성으로 인해 지관으로 분배되는 유동의 대부분이 지관의 안쪽 벽을 타고 흐르면서 지관 유입부의 일부분에 유량이 집중되고 나

머지 바깥 부분에는 불규칙한 와류가 발생하였다. 이러한 현상으로 인해 지관의 유입부에서 상대적으로 불규칙한 유동이 발생하여 난류강도가 증가하였다.

이렇게 지관의 유입부에서 발생한 난류운동에너지는 지관의 곡관부에서 가장 강해졌으며, 곡관부를 빠져나가면서 완전히 사라지는 것을 알 수 있다. 반면에 1D-3R T branch의 경우 곡관부 내에서 충분히 난류운동에너지가 분산되지 않기 때문에 곡관부를 지나도 난류가 완전히 사라지지 않는 것을 확인할 수 있다. 이러한 난류운동에너지는 지관의 유량이 많아질수록 강해지는 경향을 보였으며, 곡관부 곡률이 클수록 더 강하게 발생하였다.

Fig. 5는 주관과 지관의 유량비가 0.85 : 0.15인 경우 각 배관의 속도분포를 나타낸 것이고, Fig. 6는 난

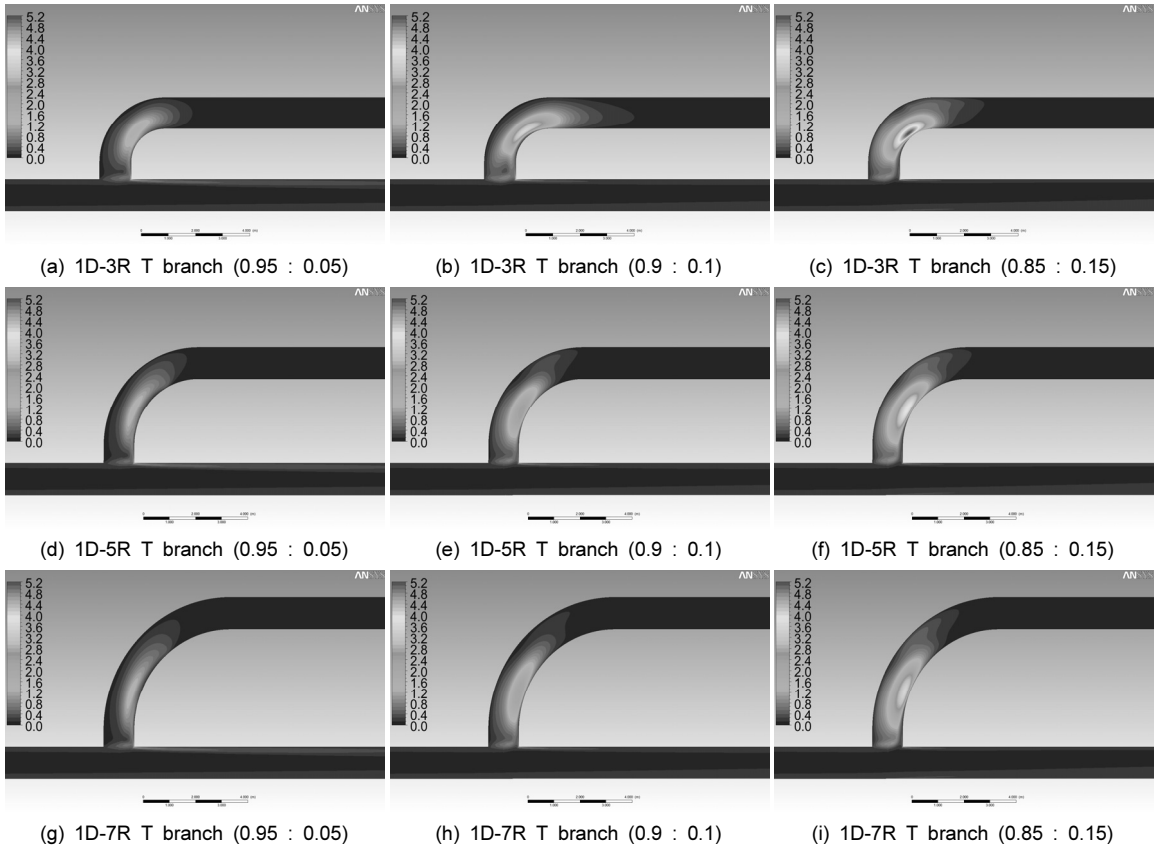


Fig. 4 Turbulence kinetic energy contours (1D-XR T branch)

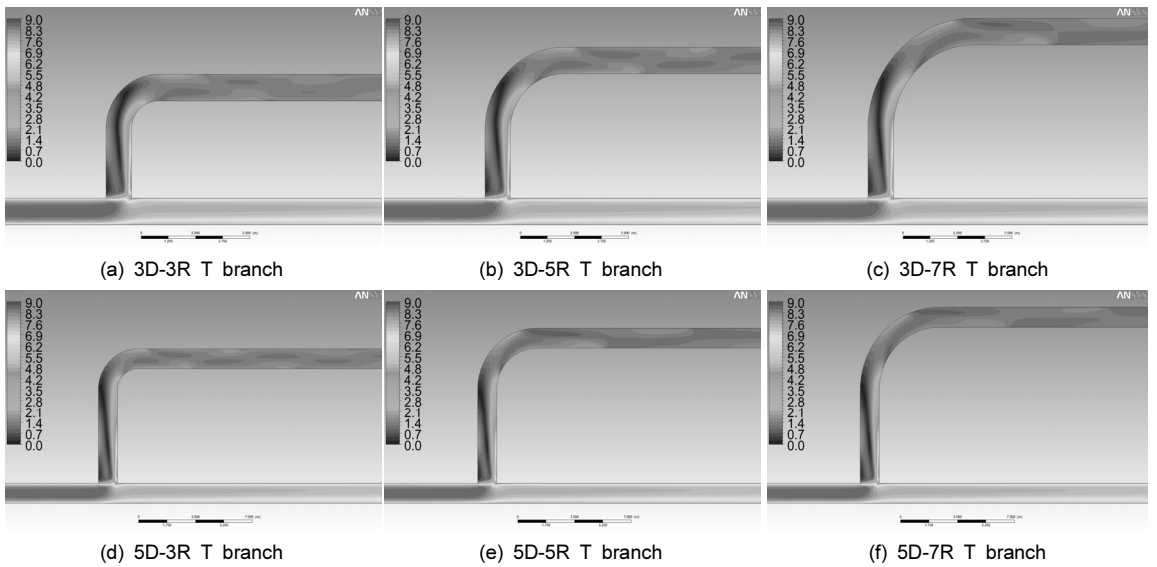


Fig. 5 Velocity contours (0.85 : 0.15)

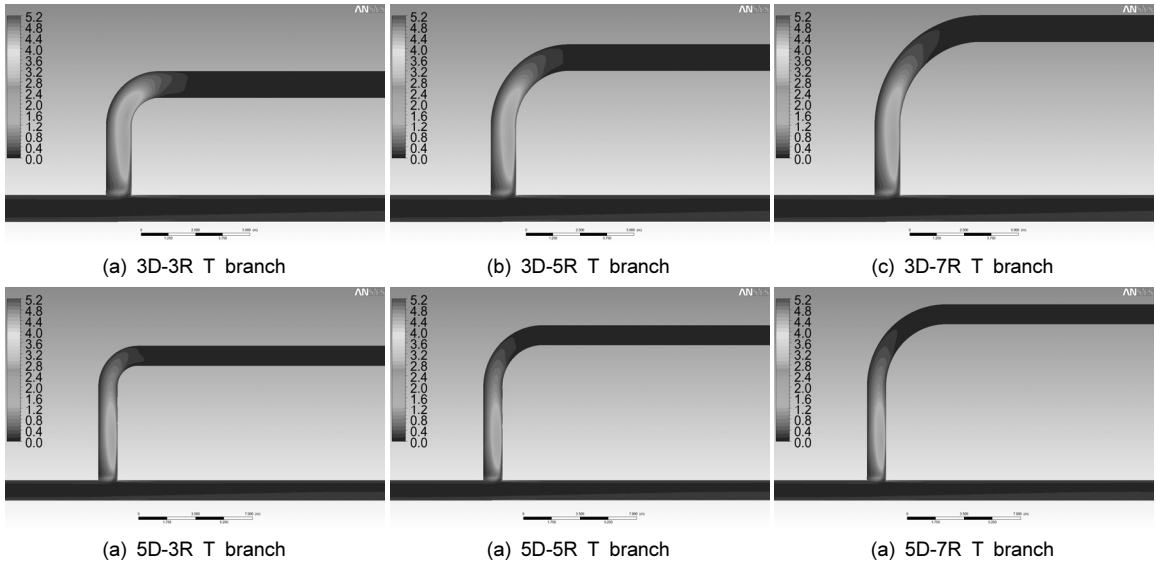


Fig. 6 Turbulence kinetic energy contours (0.85 : 0.15)

류운동에너지를 나타낸 것이다. 지관의 곡관부 곡률과 마찬가지로 주관과 지관의 곡관부와의 거리가 변하여도 주관 후류의 유동은 동일한 특성을 나타내며, 이러한 지관의 형상변화는 지관 내부의 유동패턴에만 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

주관과 지관의 곡관부와의 거리가 1D인 경우와 달리 3D 및 5D일 때는 지관의 유입부에서 발생한 난류운동에너지가 곡관부에 진입하기 전에 사라지는 것을 확인할 수 있으며 곡관부에서 난류운동에너지가 작기 때문에 지관의 후류에서 유동이 비교적 균일하게 진행하였다. 또한 곡관부 곡률이 감소함에 따라 후류의 패턴이 균일해지는 경향을 보였다. 후류의 측면에서 지관의 형상변화가 주관에 미치는 영향은 미미하나, 지관의 유입구에서 발생하는 난류운동에너지를 소산시키도록 충분한 거리를 확보해야 한다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 극한지 천연가스 이송망에 사용되는 대구경 고압배관 중 T형 분기관의 지관 형상에

따른 내부유동 특성을 수치해석을 통해 분석하였으며 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) 대구경 고압배관의 경우 주관에 흐르는 유동의 관성이 매우 강하게 작용하기 때문에 지관의 형상변화에 따른 영향이 미미하게 나타났다.
- 2) 지관의 유량이 증가함에 따라 분기점에서 주관 후류의 지관 쪽 유량이 급감함에 따라 주관 후류의 유동이 지관 쪽으로 치우치는 현상이 나타났다.
- 3) 지관으로 분배되는 유동의 대부분이 안쪽 벽을 타고 흐르면서 난류운동에너지가 발생하였으며, 곡관부를 지나기 전에 대부분 분산되어 이후의 후류에 영향을 미치지 않았으나, 1D-3R T branch의 경우 지관의 유입부에서 발생한 난류운동에너지가 곡관부 내에서 충분히 소산되지 않아 곡관부를 지나도 난류운동에너지가 완전히 사라지지 않았다.
- 4) 주관과 지관의 곡관부와의 거리가 3D, 5D로 증가하면서 난류운동에너지가 소산될 충분한 거리가 확보되면서 곡관부를 지나기 전에 난류운동에너

지가 모두 분산되어 지관의 후류 유동이 비교적 균일하게 나타났으며, 이 경우 곡관부 곡률이 감소함에 따라 지관 후류의 유동 패턴이 균일해지는 경향을 보였다.

- 5) 추후 유동상사 모델에 대한 실험을 통해 유동해석 기법을 검증하고 이를 바탕으로 유동해석 결과의 신뢰성을 확보할 예정이며 이를 바탕으로 분기관의 형상을 최적화하고 대구경 고압배관에 적합한 분기관 형상을 제안할 예정이다.

## 후 기

본 연구는 국토교통부 플랜트연구사업의 연구비 지원(13IFIP-B06700801)에 의해 수행되었습니다.

## References

1. W. S. Kim, "Design and Construction Technology for Arctic Pipeline", Journal of the Korean society of mechanical engineers, Vol. 54, No. 1, 2014, pp. 53-57.
2. TransCanada, ExxonMobil, "Alaska Pipeline Project Resource Report", 2011.
3. KEEI, "Monthly Energy Trends", Series No. 39, 2015.
4. TSNE, "ANSYS CFD Fluent Basic", TSNE Co. Ltd., Seoul, 2012.